



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA Y ROBÓTICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER:

**DESARROLLO DE SISTEMA DE
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA SMART
GRIDS**

Trabajo presentado por Francisco Javier Murillo Arroba para el máster de
automática, robótica y telemática en la universidad de Sevilla

Supervisado por: José Ramiro Martínez de Dios

Índice general

	3
1. Introducción	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Objetivos	4
1.3. Metodología	5
1.4. Estructura del documento	5
2. Estado del arte	7
2.1. Introducción	7
2.2. Smart Grids	7
2.2.1. Energías renovables dentro de la Smart Grid	8
2.2.2. Sistemas de almacenamiento dentro de la Smart Grid	9
2.3. Sistemas de almacenamiento	10
2.3.1. Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica	11
2.3.2. Tipos de baterías	14
2.3.3. Tecnologías utilizadas en baterías de litio	18
2.3.4. Comparativa entre las diferentes baterías de litio	21
2.4. Metodología en V	22
2.4.1. Objetivos del método en V	23
2.4.2. Partes del diagrama en V	24
2.4.3. Fases del método en V	24
2.4.4. Otros tipos de metodología para gestión de proyectos	25
2.5. Conclusiones	27
3. Diseño	29
3.1. Introducción	29
3.2. Especificación usuario	30
3.2.1. Características funcionales	30
3.2.2. Características operacionales	31
3.2.3. Robustez y mantenimiento	33
3.3. Especificación de componentes	34
3.3.1. Clasificación de componentes	35
3.3.2. Módulo de potencia	35
3.3.3. Módulo de protecciones	37
3.3.4. Módulo de control	38
3.3.5. Módulo de comunicaciones	39
3.3.6. Módulo de monitorización e interacción con el usuario	40
3.4. Especificación de detalles	41
3.4.1. Detalle del módulo de potencia	41
3.4.2. Detalle del módulo de protecciones	46

3.4.3.	Detalle de módulo de comunicación	47
3.4.4.	Detalle de módulo de control	48
3.4.5.	Detalle de módulo de interacción con el usuario	50
3.5.	Conclusiones	53
4.	Desarrollo	54
4.1.	Introducción	54
4.2.	Desarrollo de detalle	54
4.3.	Desarrollo de componentes	70
4.4.	Desarrollo de usuario	78
4.5.	Conclusiones	81
5.	Experimentación	82
5.1.	Pruebas sobre el bus y dispositivos de comunicaciones	82
5.1.1.	Comunicación del BMS local	82
5.1.2.	Comunicación del BMS central	83
5.1.3.	Comunicación del SCADA	85
5.2.	Pruebas de los mecanismos de seguridad implementados	85
5.2.1.	Conexión inicial del equipo al bus	85
5.2.2.	Paso del estado de funcionamiento correcto a error y viceversa	86
5.3.	Calibración de los sensores	87
5.4.	Pruebas de aislamiento del equipo	88
5.5.	Pruebas de transitorios sobre el bus de comunicación	89
5.6.	Pruebas de carga/descarga	90
5.7.	Prueba de puesta en marcha con inversor	92
5.8.	Pruebas de funcionamiento del SCADA	93
6.	Conclusiones y desarrollos futuros	96
6.1.	Conclusiones	96
6.2.	Desarrollos futuros	97
6.2.1.	BMS propio	97
6.2.2.	Algoritmo de control en función de la demanda	97
6.2.3.	Equipos de menor potencia con celdas Panasonic	98

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

Debido al aumento de la demanda de energía en todo el mundo y al agotamiento de los recursos energéticos más comunes (como el petróleo, carbón, gas natural y uranio), actualmente se busca la forma de adquirir nuevos tipos de energía, disminuir los consumos y optimizar la gestión.

Una solución cada vez más extendida a este problema es el aportado por la red eléctrica inteligente (REI o smart grid), considerada la siguiente generación de la red eléctrica tradicional. Esta red eléctrica inteligente tiene como objetivo mejorar la eficiencia de la red eléctrica actual, apoyándose en tecnologías de la información y la comunicación para poder tener un mayor conocimiento de la red y poder realizar acciones de control sobre ella, optimizando su funcionamiento.

Por otra parte, la demanda energética actual obliga a buscar nuevas formas de generación de energía, entre las cuales las fuentes de energía renovable están teniendo gran acogida, ya que son formas alternativas de generación de energía diferentes a las fuentes convencionales y no contaminan el medio ambiente. Combinando la smart grid con estas nuevas fuentes de generación se puede alcanzar una gran mejora sobre la actual demanda energética.

A su vez, la implantación de las smart grids provoca la migración de la red eléctrica tradicional centralizada, a un nuevo concepto de red eléctrica, la red eléctrica distribuida, donde cada nodo de la red se convierte en una parte activa de la misma, pudiendo ser tanto un consumidor de energía como un generador o un punto de almacenamiento de la misma.

Para apoyar esta nuevo marco de generación de energía se hacen indispensables sistemas de almacenamiento, que permitan a los usuarios de la red poder almacenar y gestionar tanto la energía generada como la que circula por la propia red, siendo estos sistemas de almacenamiento unos depósitos de energía que se utilizarán para alcanzar una mayor eficiencia de la red eléctrica.

Actualmente una de las tecnologías punteras de estos sistemas de almacenamiento son las baterías basadas en litio, las cuales han abaratado su coste en la actualidad debido a las mejoras en los procesos de fabricación y se han consolidado como una de las mejores opciones a la hora de diseñar e implementar un sistema de almacenamiento de energía. Por su coste cada vez menor y sus prestaciones (alto rendimiento, número elevado de ciclos de descarga, gran densidad de energía, etc.) cada vez más aplicaciones utilizan tecnología basada en baterías de litio.

Este trabajo en concreto se centra en el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de almacenamiento basado en baterías de litio, con el fin de integrar este sistema posteriormente dentro de una smart grid y que le sirva como soporte a la hora de gestionar la red eléctrica.

El desarrollo de un sistema de estas características es un proyecto bastante complejo y que conlleva muchos riesgos, para minimizar estos riesgos y encuadrar el desarrollo de la aplicación dentro de ciertas condiciones de garantía y seguridad se va a utilizar un método de desarrollo

de proyectos denominado metodología en V.

La metodología de desarrollo en V fue desarrollado por la Administración Federal Alemana para regular el proceso de desarrollo de software, aunque puede ser utilizado para proyectos de cualquier tipo, describe las actividades y resultados obtenidos durante el desarrollo y proporciona una guía para la planificación de proyectos. Se basa en una continua verificación y testeo de los productos desarrollados con el fin de que estos se ajusten en todo momento a las especificaciones deseadas.

Esta metodología proporciona grandes beneficios a la hora de plantear y desarrollar un proyecto, ya que da una idea muy aproximada de los costes y el esfuerzo que supondrá el proyecto, pudiendo tomar decisiones sobre su viabilidad y proporcionando al encargado del proyecto información necesaria para poder identificar de antemano puntos de riesgo en el proyecto y mejorarlos.

Por lo tanto el objetivo final de este trabajo será el de diseñar e implementar un sistema de baterías de litio para apoyo en smart grids basando el desarrollo de este proyecto en una metodología de desarrollo que proporcione seguridad y calidad, como es el método de desarrollo en V.

1.2. Objetivos

El diseño e implementación de un sistema de almacenamiento orientado a soporte de red en smart grids proporcionará un conocimiento en mayor profundidad de como funcionan y se comportan este tipo de dispositivos, además al enmarcar todo este diseño y desarrollo dentro de la metodología en V el proceso quedará perfectamente documentado, obteniendo también la calidad deseada en el producto final. Como objetivos principales de este trabajo cabe destacar:

- Adquirir un conocimiento básico del contexto de las energías renovables dentro de una smart grid así como de la importancia del sistema de almacenamiento de energía para la gestión y regulación de la red eléctrica.
- Conocer las diferentes tecnologías de sistemas de almacenamiento existentes y en especial las basadas en baterías de litio, conocer sus particularidades, características y principales aplicaciones y tecnologías.
- Enmarcar el diseño e implementación del equipo dentro dentro de la metodología de desarrollo en V, documentando y desglosando todas las especificaciones requeridas en el equipo.
- Desarrollar el equipo especificado anteriormente en la definición del proyecto, desarrollar cada parte ajustandose lo máximo posible a las especificaciones dadas.
- Comprobar y validar de forma continua que cada parte del equipo que se desarrolle cumpla con las especificaciones mediante las pruebas y los test necesarios.
- Una vez completado el desarrollo total del equipo validar que cumpla las especificaciones pedidas y realizar varias pruebas y tests que validen su correcto funcionamiento, simulando las cargas y descargas propias que podría sufrir dentro de una smart grid real.

El cumplimiento de todos los objetivos mencionados anteriormente concluirá con la correcta finalización del proyecto, dando paso a la integración del equipo dentro de una smart grid real, pudiendo utilizar este equipo posteriormente para el desarrollo y testeo de algoritmos de control dentro de una smart grid con sistema de almacenamiento de energía.

1.3. Metodología

Es necesario establecer un método que permita realizar el trabajo de forma ordenada, partiendo de los fundamentos básicos y necesarios para contextualizar el proyecto y siguiendo por la implementación de la metodología en V como método de desarrollo final para el proyecto. La metodología llevada a cabo para la realización de este trabajo es la siguiente:

- En primer lugar se realizó un estudio del arte sobre el contexto en el que se enmarcaría el sistema de almacenamiento, profundizando en smart grids y energías renovables.
- Posteriormente se estudió la tecnología de sistemas de almacenamiento basados en baterías de litio, profundizando en sus aplicaciones, características y funcionamiento, así como en los diferentes tipos de celdas de litio existentes en la actualidad.
- Una vez realizado el estudio del sistema de almacenamiento y su contexto se diseñó las especificaciones del equipo a implementar, niveles de tensión, potencia, componentes, celdas concretas que montaría etc.
- Con los requerimientos del equipo ya calculados se pasó a implementar la metodología de diseño en V para la creación y validación del dispositivo final.
- En un primer paso y siguiendo la metodología de diseño en V se definirán las especificaciones de usuario del equipo, así como las especificaciones de cada parte del equipo y de los componentes que montará, documentando todo el diseño para poder llevarlo a cabo en la parte de implementación.
- Posteriormente se desarrollarán todos los componentes definidos en la fase previa, contactando con proveedores para el suministro de los materiales y desarrollando tanto la parte hardware como software que el equipo necesitará.
- Una vez que termine el desarrollo de una parte concreta del equipo esta será testeada y validada para comprobar que cumpla con las especificaciones, como exige la metodología de desarrollo en V.
- Al acabar el desarrollo y validación de todas las partes del equipo este se ensamblará y se validará, para comprobar que cumple con las especificaciones de usuario.
- Finalmente una vez validado el equipo se le someterá a pruebas de carga y descarga simulando una smart grid, con el fin de comprobar que su funcionamiento dentro del entorno en el que se instalará posteriormente es el correcto.

Esta será la metodología llevada a cabo para la realización del proyecto, cumpliendo en todo momento con los objetivos generales del proyecto y las especificaciones de diseño que se describan para el equipo.

1.4. Estructura del documento

Este trabajo se encuentra dividido en 6 capítulos. Los dos primeros capítulos se centran en la explicación general del proyecto, exponiendo en el capítulo 2 el estado del arte de los sistemas de almacenamiento y el contexto en el que irá enmarcado este proyecto.

Posteriormente los capítulos 3 y 4 se centrarán en el método de desarrollo en V, en concreto en el capítulo 3 se desarrollará la parte de especificaciones del proyecto y el capítulo 4 se

centrará en la parte de desarrollo y validaciones, quedando después de estos dos capítulos el equipo totalmente definido y validado.

Finalmente los capítulos 5 y 6 recogerán las conclusiones finales, pruebas sobre el equipo y nuevas líneas de desarrollo, culminando el trabajo en el capítulo 6 con las futuras aplicaciones que se podrían desarrollar en el equipo final.

Capítulo 2

Estado del arte

2.1. Introducción

En este capítulo se realizará una descripción de los conceptos principales involucrados en la creación del equipo de almacenamiento de energía, así pues se explicará el concepto de Smart Grid, marco energético donde se justifica la creación del equipo. Posteriormente se analizará el sistema de almacenamiento de energía, proporcionando una visión general del mismo y de sus posibles aplicaciones y finalmente se realizará una descripción de la metodología en V, metodología seguida para llevar a cabo el proyecto de diseño e implementación del equipo de almacenamiento.

Al exponer los elementos descritos en el párrafo anterior se realizará un estudio del estado del arte de cada uno de ellos, mencionando las diferentes tecnologías, tipos y métodos más relevantes en la actualidad, con el fin de dar una visión más global de proyecto y su entorno.

2.2. Smart Grids

Como definición global, la smart grid o red eléctrica inteligente (REI) puede definirse como la combinación de los desarrollos logrados en ingeniería eléctrica, con los avances en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), con el fin de alcanzar un sistema eléctrico más eficiente.

Este sistema más eficiente se alcanza al concatenar los elementos clásicos de generación, transmisión y comercialización de energía con instrumentos digitales de medición y control, desde pequeños contadores electrónicos a nivel de usuario hasta analizadores de red dentro los entornos más industriales. Esto permite una comunicación bidireccional entre usuario y empresa haciendo posible una mejor gestión de la energía por ambas partes.

Desde el punto de vista del consumidor: El consumidor puede conocer en todo momento la tarifa que le está siendo aplicada así como su consumo en tiempo real, pudiendo gestionar de una forma más eficiente los picos de consumo y distribuirlos a lo largo del día evitando un gasto excesivo. Se le puede proporcionar a la central generadora la información del estado de la red en tiempo real, con el fin de que esta mejore el servicio de la misma o pueda solucionar las incidencias de una forma más rápida y efectiva.

Desde el punto de vista de la generación: Las empresas generadoras pueden conocer con mayor detalle y rapidez el estado de la red eléctrica en todo momento, así como generar históricos que les permita adelantarse a los picos de demanda que puedan surgir. A la hora de mejorar el servicio o solucionar incidencias se podrán obtener y consultar todos los datos obtenidos de los usuarios, pudiendo realizar estas tareas de forma más eficiente y rápida, aumentando así la satisfacción de los clientes y generando un valor añadido al producto

Los principales objetivos que persigue una smart grid se pueden resumir en:

- Aumentar la calidad y fiabilidad del suministro eléctrico: haciendo uso de los datos acumulados se pueden realizar tareas de prevención más concretas a la hora de realizar el mantenimiento de la red, prevenir posibles averías comunes y en caso de que estas ocurran realizar una mejor gestión de la misma, solucionando las incidencias en un tiempo menor.
- Mejorar la eficiencia: se pueden gestionar mucho mejor los picos de demanda de energía eléctrica, facilitando un mayor aprovechamiento de la misma y disminuyendo la carga de trabajo de los centros generadores.
- Facilitar a los clientes la gestión de su consumo eléctrico: la smart grid pone a disposición de los usuarios la información y las herramientas necesarias para poder tomar decisiones sobre el uso de la energía consumida.
- Contribuir al mantenimiento de la sostenibilidad ambiental: la smart grid, debido a la mayor capacidad de gestión que ofrece se convierte en el marco perfecto para la integración de las energías renovables en la red eléctrica, permitiendo obtener un mayor rendimiento y una mejor gestión de las mismas.

En la figura 2.1 se ilustra esquemáticamente la diferencia entre el sistema de distribución de energía tradicional (centralizado) y el sistema implementado por la smart grid (sistema distribuido).

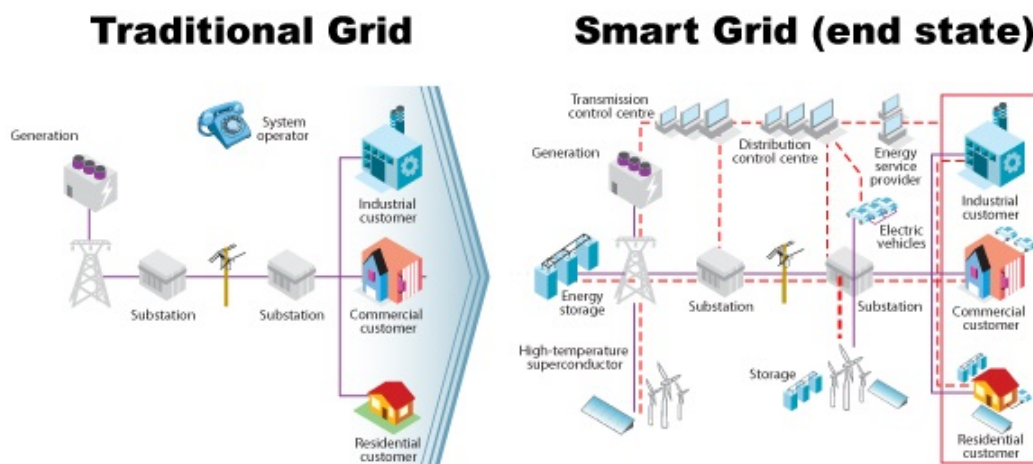


Figura 2.1: Diferencia entre sistema tradicional y smart grid

2.2.1. Energías renovables dentro de la Smart Grid

Al introducir las energías renovables dentro de las smart grids es cuando se alcanza el punto de máximo aprovechamiento de las mismas. Las fuentes de energía renovable con más impacto en la actualidad son las fuentes de energía solar y eólica, el principal inconveniente de estas fuentes es que su suministro varía en función del clima y es aquí donde la smart grid alcanza una gran funcionalidad al regular la integración de estos nuevos componentes en la red.

A la hora de introducir las energías renovables dentro de una smart grid se produce un cambio en el sistema energético, pasando de un sistema centralizado como el actual, donde la energía sólo fluye en un sentido, a un sistema distribuido donde cada nodo de la red puede ser generador y consumidor al mismo tiempo.

Este cambio de sistema energético plantea varias ventajas en cuanto a la eficiencia en el consumo, transporte y almacenamiento de la energía, el principal problema del sistema energético actual se centra en que la energía sólo fluye en un sentido, haciendo complicado el almacenamiento de energía en grandes cantidades y necesitando por tanto una regulación constante entre generación y consumo.

A la hora de introducir el concepto de generación distribuida cada nodo se transforma en una parte activa de la red, pudiendo tanto generar energía como consumirla, esto hace que la energía pueda tener un flujo bidireccional dentro de la red, así mismo la energía es generada en cantidades más pequeñas reduciendo los problemas para poder almacenarla y gestionarla posteriormente.

Esta nueva capacidad de generación y gestión de la energía produce grandes beneficios sobre el usuario, cuyo control sobre la energía anteriormente se había limitado al control voluntario de la demanda y a programas de control directo sobre la carga. Con la introducción de los nuevos dispositivos de medición y sistemas energéticos se le ofrece ahora al usuario la posibilidad de controlar su propia demanda, haciendo que esta se adapte mejor a sus propias necesidades y a las de la red.

El objetivo común tanto de la red como del usuario a la hora de alcanzar una mayor eficiencia energética pasa a ser el de aplanar la curva de demanda, con el fin de obtener una mejor racionalización, planificación y abaratamiento de la energía. Para alcanzar este objetivo son fundamentales cuatro acciones: reducción del consumo total, desplazamiento del consumo de la hora punta a la hora valle, reducción del consumo en hora punta y aumento de la demanda en valle. En la figura 2.2 se puede apreciar el efecto de estas medidas sobre la curva de consumo así como algunos medios para realizarlos.

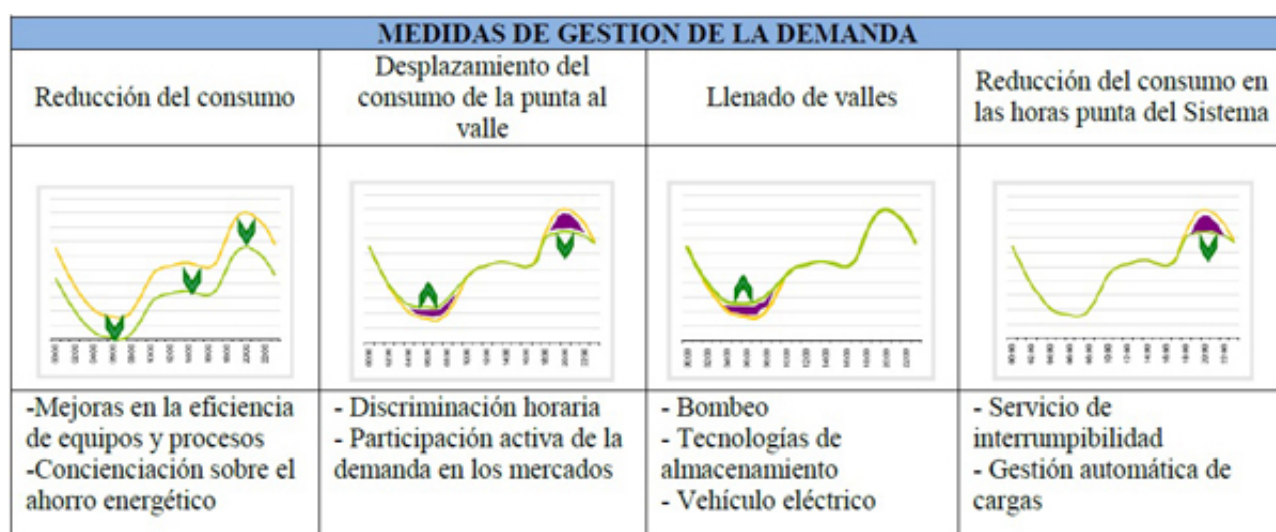


Figura 2.2: Modificación de la curva de consumo eléctrico

2.2.2. Sistemas de almacenamiento dentro de la Smart Grid

Como punto importante a la hora de gestionar la energía dentro de una smart grid cobran protagonismo los sistemas de almacenamiento, ya sea para almacenar la energía generada mediante fuentes renovables o simplemente a la hora de desplazar consumos desde las horas de consumo pico a las horas de consumo valle, cargando y descargando estos sistemas de almacenamiento a través de la propia red.

- Como parte del sistema de generación de energía: al implementar un sistema generador de energía, ya sea basado en fuentes renovables o no, el sistema de almacenamiento se

presenta como una pieza clave del conjunto para poder gestionar y tratar la energía sobrante generada, pudiendo acumular esta energía para ser utilizada en momentos de mayor necesidad o cuando la fuente de energía no esté produciendo.

En instalaciones aisladas de la red estos sistemas de almacenamiento pasan a ser necesarios, dependiendo el usuario completamente de ellos a la hora de consumir energía cuando no exista generación de la misma, dentro de una smart grid no sólo cumplen con este cometido, si no que además tienen la capacidad de poder servir de apoyo en horas puntas para otros usuarios de la red, ayudando con la energía sobrante que no se valla consumir a equilibrar la demanda aplanando la curva de consumo eléctrico de la red.

En la figura 2.3 se puede observar la integración de estos sistemas de almacenamiento en instalaciones con generación de energía.

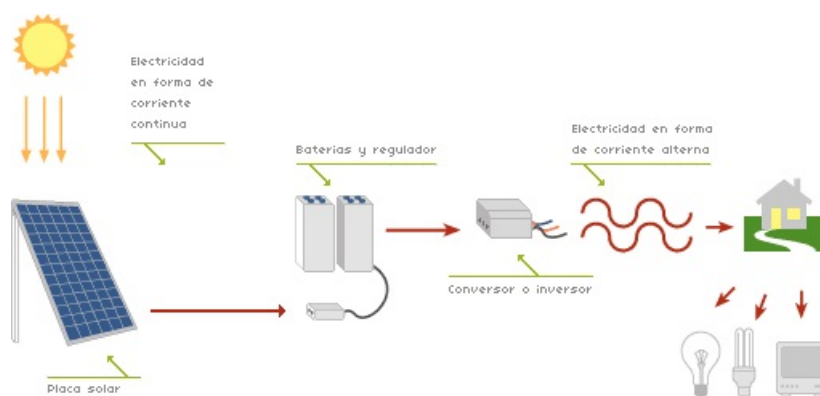


Figura 2.3: Batería dentro de instalación generadora

- Como herramienta para desplazar el consumo de punta a valle: el sistema de almacenamiento es una herramienta clave a la hora de poder desplazar el consumo desde la parte de punta de consumo a la parte de valle de la curva de consumo eléctrico, con las ventajas para el usuario y la red que esto supone.

A la hora de pasar por una zona de consumo valle el usuario puede cargar su sistema de almacenamiento con energía comprada a menor precio y utilizar esta energía almacenada en la zona de consumo punta, reduciendo con ello el coste de la energía consumida y aportando beneficios a la red al aplanar la curva de consumo eléctrico.

2.3. Almacenamiento de energía

Como definición general, un sistema de almacenamiento de energía es cualquier sistema capaz de conservar, en la medida de lo posible, una energía generada para posteriormente utilizarla, ya sea en la misma forma en la que se generó o transformada a otro tipo de energía diferente.

Ejemplos claros de sistemas de almacenamiento de energía se pueden encontrar por ejemplo en el funcionamiento de un reloj mecánico, donde un muelle guarda energía potencial para ir cendiéndosela de forma regular a los mecanismos del reloj, o en una planta hidroeléctrica, donde la energía del agua almacenada se utiliza para producir energía eléctrica según las necesidades de consumo.

Dentro de este proyecto adquieren especial relevancia los sistemas capaces de almacenar, suministrar y gestionar la energía eléctrica generada a través de otros procesos, la electricidad es

una energía secundaria creada a partir de la transformación de una energía primaria(solar, eólica, geotérmica, etc.), tiene el inconveniente de que la energía eléctrica no puede ser almacenada como tal, al generarse ha de ser instantáneamente consumida o se perderá.

Para poder almacenar esta energía ha de ser transformada a otros tipos, como la energía mecánica o la energía química para las cuales es viable el almacenamiento, algunos ejemplos de estas transformaciones son el elevar mediante una bomba eléctrica el agua a cotas más elevadas (transformación en energía potencial)o la de excitar compuestos que tiene la capacidad de reaccionar entre sí intercambiando y almacenando electrones (transformación en energía química).

Uno de los ejemplos más utilizados de estas transformaciones químicas para almacenar energía son las baterías, estas se consolidan como parte fundamental de los actuales sistema de generación, acumulación y gestión de energía dentro del campo de las energías renovables, permitiendo almacenar los excedentes de energía generada para ser utilizada posteriormente facilitando a los usuarios de estas tecnologías la posibilidad de gestionar la demanda de energía y la generación variable que proporciona por ejemplo, una placa solar fotovoltaica.

Las baterías son acumuladores de electricidad basados en la transformación de esta energía en energía química, se basan en compuestos que tienen la capacidad de intercambiar electrones y que al pasar por un circuito eléctrico generan una corriente eléctrica, también al ser conectadas a un generador son capaces de generar un flujo de electrones en el sentido opuesto adquiriendo carga nuevamente. Dependiendo de los elementos químicos utilizados para la transferencia de electrones se pueden obtener baterías de características muy diferentes, siendo algunas más adecuadas que otras para un uso concreto.

2.3.1. Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica

Los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, como se ha mencionado anteriormente, se basan en la transformación de este tipo de energía en otra cuyo almacenamiento sea posible, los sistemas de almacenamiento más utilizados se muestran a continuación:

- Supercondensadores

Dispositivos electroquímicos capaces de almacenar energía eléctrica con una capacidad muy superior a los condensadores electrolíticos comunes, alcanzando unas capacidades del orden de entre 10 y 100 veces la capacidad de estos. Los supercondensadores de mayor tamaño cuentan con capacidades de hasta 5000F, llegando a alcanzar densidades de energía de hasta 30 Wh/kg.

Sus principales ventajas son: una alta eficiencia, gran rango de tensión y temperatura, gran periodo de operación y bajo mantenimiento, son muy utilizados en aplicaciones como: automóviles híbridos, apoyo energético y sistemas de transferencia de potencia. En la figura 2.4 se muestra el aspecto externo de un supercondensador.



Figura 2.4: Supercondensador

■ Baterías

Dispositivo que almacena energía eléctrica usando procesos electroquímicos y que posteriormente suministra esta energía en forma de electricidad. Su funcionamiento se basa en un flujo de electrones entre un electrodo positivo, llamado ánodo y un electrodo negativo o cátodo, cada celda consta de un electrodo positivo y uno negativo permitiendo el flujo de iones entre estos, facilitando así que la corriente fluya fuera de la batería.

Existen muchos tipos de baterías en base a su composición, cada tipo de baterías proporciona características muy diferentes en cuanto tensión de la celda, densidad de energía, número de ciclos, etc. posteriormente se desglosarán los principales tipos de baterías así como sus características mas relevantes. En la figura 2.5 se puede observar el funcionamiento básico de una batería de litio.

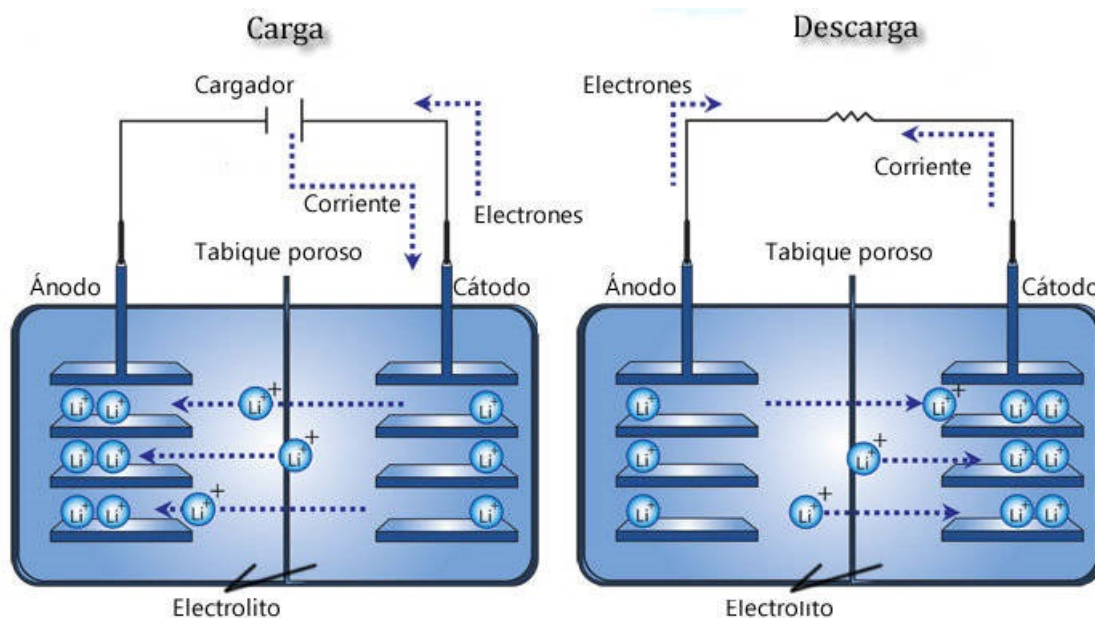


Figura 2.5: Funcionamiento de una batería de litio

■ Pila de combustible

Es un dispositivo electroquímico el cual se basa en hacer reaccionar un flujo continuo de combustible y oxidante, suministrando mediante esta reacción corriente eléctrica a un circuito externo. Su funcionamiento es similar al de una batería, sólo que esta está

diseñada para permitir el abastecimiento continuo de los reactivos consumidos mediante una fuente de combustible exterior.

La eficiencia de estas pilas de combustible oscila en torno a un 40-60 % pudiendo llegar a un 85-90 % en cogeneración, suelen proporcionar una tensión por celda de 1,2V, actualmente tienen un coste de aproximadamente 20€ por Kw pero debido a las mejoras en el diseño este precio por Kw se está reduciendo y poseen una durabilidad superior a 40.000 ciclos de descarga. En la figura 2.6 se muestra el aspecto de una pila de combustible.

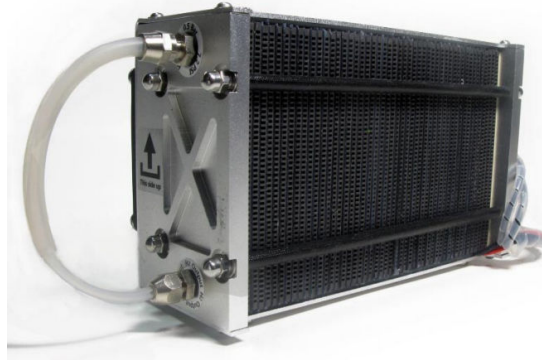


Figura 2.6: Pila de combustible

■ Sistemas de bombeo de agua

Sistemas basados en almacenar la energía eléctrica en forma de energía potencial, bombeando agua a cotas de altura superiores para utilizar esta energía potencial cuando se estime oportuno, generando electricidad mediante turbinas movidas por la caída de este agua a cotas inferiores.

Las principales implementaciones de este tipo de almacenamiento de energía se realizan en centrales hidroeléctricas de bombeo, donde se bombea agua a cotas superiores en las horas de menor demanda y se utiliza posteriormente para producir electricidad en los momentos de consumo pico. En la figura 2.7 se puede observar un esquema de este tipo de centrales.



Figura 2.7: Central hidroeléctrica de bombeo

- Volantes de inercia

Dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica-cinética para ser almacenada. El volante de inercia es un disco metálico que comienza a girar cuando se le aplica un par motor, este disco tiene la mayor parte de su masa ubicada lejos del eje de giro almacenando así una mayor energía.

Se puede utilizar las horas de menor consumo para aplicar a través de un motor un par de rotación al volante de inercia y posteriormente, en las horas de consumo pico, aprovechar la inercia adquirida por el motor para generar energía eléctrica a través de imanes rotatorios. En la figura 2.8 se muestra la imagen de un volante de inercia.



Figura 2.8: Volante de inercia

2.3.2. Tipos de baterías

Dentro de las baterías como sistema de almacenamiento de energía existen muchos tipos, dependiendo de los compuestos que se utilicen para la transmisión de electrones. En base a estos compuestos, las baterías adquieren diferentes características que las hacen más apropiadas para diferentes aplicaciones. Las principales características que definen una batería son:

- Capacidad: indica la cantidad de energía que una batería puede almacenar, normalmente se mide en amperios hora(Ah).
- Tensión en bornas: la tensión que la batería es capaz de generar entre su electrodo positivo y el negativo, se mide en voltios(V).
- Ciclos de descarga: la cantidad de descargas completas que la batería puede realizar antes de llegar al final de su vida útil.
- Tamaño: dependiendo de la tecnología utilizada las baterías presentan diferentes tamaños y formas, las más usuales son formas cilíndricas o prismáticas de pequeño tamaño.
- Peso: el peso es un factor importante dentro de las baterías, dependiendo de la aplicación puede ser incluso determinante como por ejemplo en aplicaciones de aeromodelismo.
- Precio: a la hora de seleccionar una batería para una aplicación concreta el precio es un parámetro importante, este depende sobre todo de lo avanzado que esté el proceso de fabricación de un tipo de batería concreto y los componentes que esta necesite.

- Densidad de energía: la densidad de energía mide la capacidad de una batería con respecto a su peso, es un factor a tener en cuenta, ya que para muchas aplicaciones una batería con alta capacidad y poco peso es necesaria, como por ejemplo en un coche eléctrico, se mide en vatios por kilogramo(W/Kg).

Estas características están determinadas por la composición de materiales de cada batería, pudiendo variar ligeramente dentro de una misma composición pero manteniéndose siempre dentro de unas características generales que identifican cada tipo de batería. Los tipos de batería más utilizados se muestran a continuación:

- Baterías de plomo-ácido

Este tipo de baterías están formadas por un depósito de ácido sulfúrico y dentro de él varias placas de plomo en paralelo, dispuestas alternadamente en cuanto a su polaridad y suministrando una corriente mayor al aumentar el número de placas por batería. Se componen internamente de celdas que suministran una tensión de aproximadamente 2V. por lo tanto proporcionan tensiones múltiplo de dos, las más usuales son las de 6, 12 y 24V.

Las principales ventajas de estas baterías son su robustez, precio y alta tensión en bornas comparada con otras baterías, características que las hacen muy apropiadas para aplicaciones de bajo coste y especificaciones poco exigentes, como principal desventaja cabe destacar la baja densidad de energía, pérdida de tensión progresiva con la carga y pocos ciclos de carga/descarga (entre 500 y 800).

Los principales usos de estas baterías en la actualidad se dan en la automoción como alimentación para el motor de arranque de los vehículos y en almacenamiento de energía, sirviendo como acumulador en instalaciones fotovoltaicas y estaciones de telefonía aisladas.

En la figura 2.9 se puede observar el aspecto externo de una batería de plomo y sus curvas de descarga.

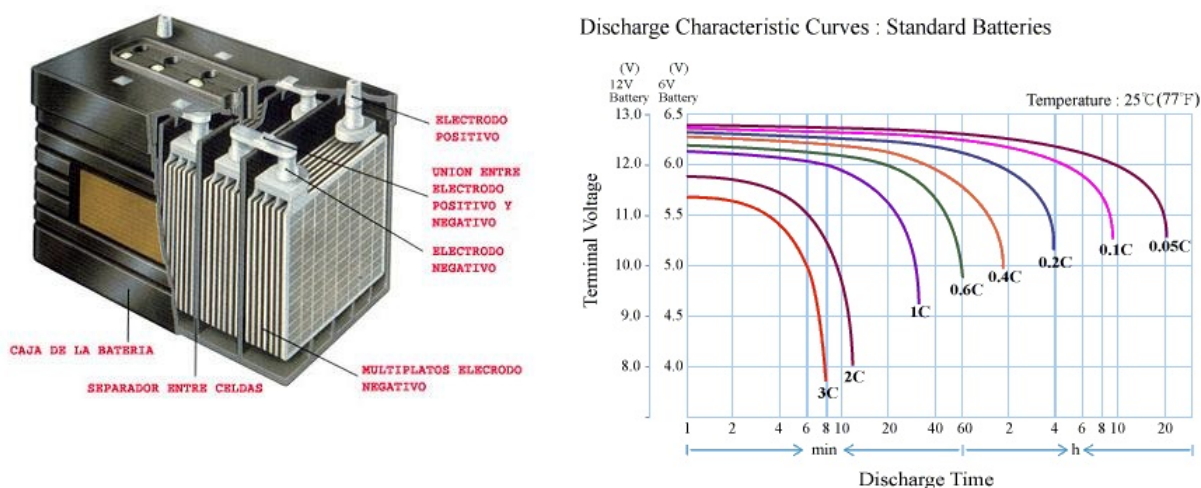


Figura 2.9: Batería plomo ácido y curvas de descarga

- Pila alcalina

Pila eléctrica que obtiene su energía de la reacción química entre zinc y el dióxido de magnesio, empleando electrolitos alcalinos. Producen aproximadamente 1,5V por celda

y tienen una densidad de energía mucho mayor que otras pilas basadas en electrolitos salinos.

La capacidad de estas baterías varía fuertemente en función de la demanda de corriente del dispositivo al que se conecten, una pila alcalina de tamaño AA puede tener una capacidad real de 3000mAh a baja potencia pero para consumos de 1W esta capacidad puede bajar hasta los 700mAh. La tensión de estas baterías también se reduce de forma constante al reducir su capacidad por lo que su límite de uso dependerá también de la tensión de corte de la aplicación.

Las principales ventajas de estas pilas se centran en su reducido tamaño y su densidad de energía alta, lo que las hace muy útiles para aplicaciones en dispositivos de pequeño tamaño, dentro de sus desventajas cabe destacar la variación de la capacidad real cuando la demanda de potencia es alta y la pérdida progresiva de tensión con la capacidad.

Su uso principal en la actualidad se centra en la alimentación de pequeños dispositivos electrónicos de bajo o medio consumo, como mandos a distancia o cámaras de fotos. En la figura 2.10 se puede observar el aspecto externo de una pila alcalina AAA así como un esquema de su funcionamiento interno.



Figura 2.10: Pila alcalina AAA y funcionamiento interno

- Batería de níquel-hierro

Batería recargable compuesta por un ánodo de Óxido de níquel (III)-hidróxido, un cátodo de hierro y un electrolito de hidróxido de potasio. Suministra una tensión por celda de 1,2V y una densidad de energía de aproximadamente unos 30Wh/l.

La principal ventaja de estas baterías es su durabilidad y robustez, incluso sometida a condiciones extremas de sobrecarga, cortocircuitos y descargas profundas, puede tener una vida útil superior a 20 años. Como principales desventajas cabe destacar un alto coste de producción y una retención de carga bastante mala comparada con otras tecnologías.

Su principal uso se centra en almacenamiento de energía para instalaciones de generación de energía aislada, aunque actualmente estas baterías están obsoletas, siendo sustituidas en la mayoría de las aplicaciones por otro tipo de baterías recargables. En la figura 2.11 se muestra una batería de níquel hierro.

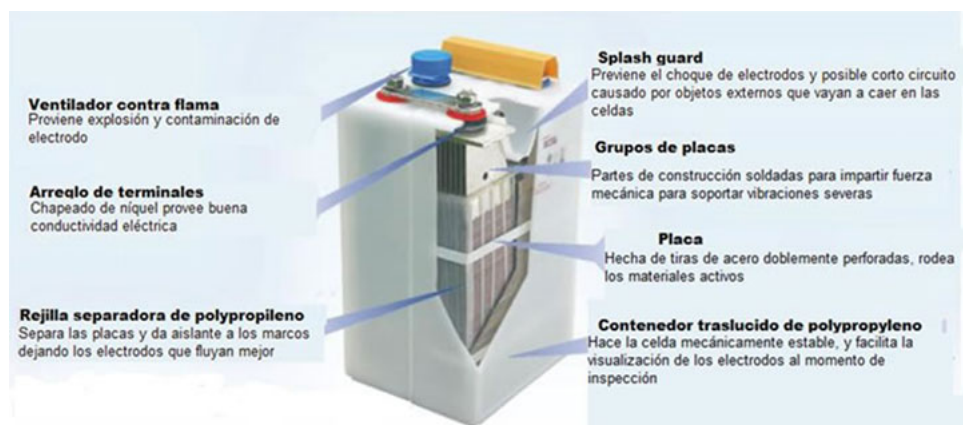


Figura 2.11: Batería níquel-hierro

■ Batería de iones de litio

Dispositivo diseñado para almacenar energía eléctrica, empleando como electrolito una sal de litio que proporciona los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible entre ánodo y cátodo. Proporcionan una tensión nominal por celda de entre 3,6 y 3,2V llegando a obtener una densidad de energía de entre 250-730Wh/L y un rendimiento de entre el 80-90 %.

Las principales ventajas de estas baterías son su elevada tensión nominal por celda, su gran número de ciclos de carga y su alta densidad de energía, mucho mayor que la de otros tipos de batería, lo que las hace muy apropiadas para aplicaciones que requieran un gran suministro de energía pero con fuertes restricciones de peso y tamaño de la fuente. como principales desventajas cabe destacar la necesidad de un control continuo sobre la batería para evitar situaciones de sobre carga o sobre descarga, ya que este tipo de baterías es bastante frágil y estas situaciones así como una temperatura ambiente elevada reducen drásticamente su vida útil.

Actualmente se puede encontrar este tipo de baterías en multitud de aplicaciones, desde alimentación para naves de aeromodelismo, soporte para coches eléctricos e híbridos e incluso para aplicaciones de almacenamiento en instalaciones de generación de energía. Su uso se ha echo muy popular últimamente debido al abaratamiento de las celdas provocado por la mejora de los procesos de producción.

En la figura 2.12 se puede observar una celda de litio y su curva de descarga.

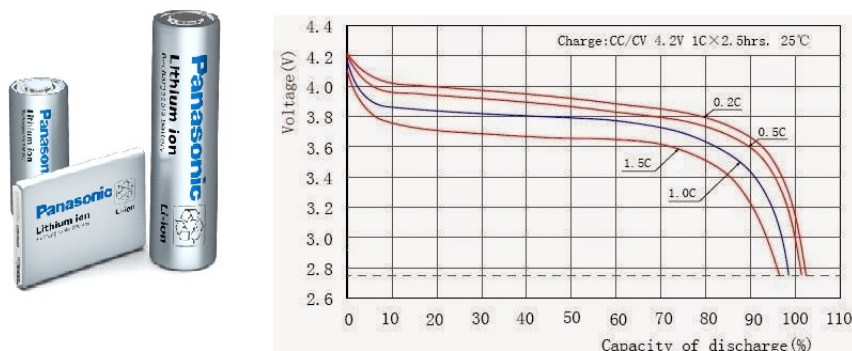


Figura 2.12: Batería de ion-litio y curvas de descarga

2.3.3. Tecnologías utilizadas en baterías de litio

A la hora de escoger una tecnología concreta de baterías entre las expuestas en el punto anterior para el almacenamiento y gestión de energía en smart grids se va a optar por la tecnología de baterías basada en litio. Esta tecnología tiene la particularidad de poseer una gran densidad de energía y un número de ciclos de carga y descarga alto, por lo tanto se hace la más apropiada a la hora implementar sistemas de almacenamiento dentro de smart grids con el propósito de obtener una fuente de almacenamiento de alta durabilidad, robustez y con un tamaño y precio aceptable.

Una de las principales desventajas de esta tecnología era su elevado coste, pero actualmente y debido a la mejora en las técnicas y procesos de fabricación de baterías de litio se ha conseguido disminuir su precio en el mercado, haciendo de estas baterías una de las principales opciones a la hora de desarrollar aplicaciones basadas en almacenamiento.

Dentro de la tecnología de baterías basada en litio se pueden distinguir varios tipos de baterías dependiendo de su composición y de los materiales utilizados para generar el flujo de electrones, gracias a esta diversidad de materiales es posible crear diferentes tipos de baterías de litio con diferentes características, los principales tipos son:

- Litio cobalto óxido (LiCoO_2)

Es el tipo de batería con más densidad energética en términos generales pero también son las más peligrosas, debido al riesgo de combustión que presentan al ser sometidas a sobrecarga. Su estructura química interna se presenta en la figura 2.13.

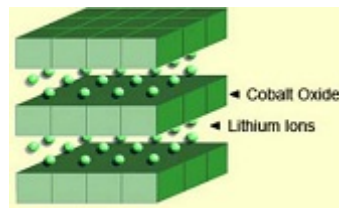


Figura 2.13: Estructura química LiCoO_2

Sus principales desventajas son que no pueden ser cargadas y descargadas a más de su corriente nominal, 1C, superar ese valor conllevaría sobrecalentamiento, carecen de potencia y seguridad (son más peligrosas) y tienen un ciclo de vida más corto que otras baterías basadas en ion-litio. Sus principales ventajas son su energía específica y su precio. En la figura 2.14 se puede observar un diagrama con las principales características de este tipo de baterías.

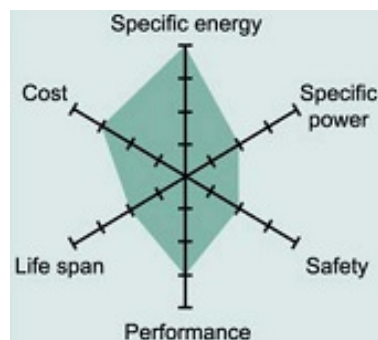


Figura 2.14: Diagrama LiCoO_2

- Litio manganeso óxido (LiMn_2O_4)

Al contrario que la batería de óxido de cobalto mencionada en el punto anterior, la estructura química interna de este tipo de baterías no es laminar, sino que forma una trama tridimensional. Esta estructura le confiere una menor resistencia interna, lo que le permite aumentar la corriente de descarga. Por ejemplo, en una batería típica 18650 esta intensidad puede ser de 20-30A, llegando a soportar pulsos de un segundo a 50A. Esta estructura interna se muestra en la figura 2.15.

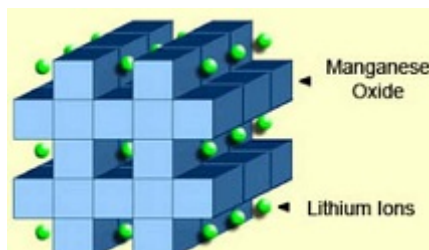


Figura 2.15: Estructura interna LiMn_2O_4

El principal problema de las celdas de óxido de manganeso con respecto a las de óxido de cobalto es la capacidad, siendo un tercio más pequeña, pero tienen la ventaja de una mayor flexibilidad de diseño, mejorando en algunos parámetros como tiempo de vida, corriente de carga y potencia específica. Por ejemplo, una batería típica 18650 tiene una capacidad aproximada de 1'1Ah. En la figura 2.16 se muestra un diagrama con las características principales de este tipo de baterías.

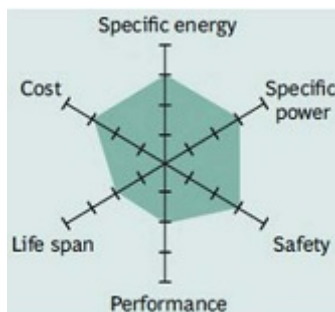


Figura 2.16: Diagrama LiMn_2O_4

- Litio níquel manganeso cobalto óxido (NMC ó LiNiMnCoO_2)

Este tipo de baterías contiene una tecnología química “híbrida”, combinando la baja resistencia del manganeso y la alta energía del níquel, obteniendo una capacidad razonablemente alta y una corriente de descarga elevada.

Una batería media 18650 con este tipo de tecnología puede tener una capacidad de 2'8Ah pudiendo ser descargada en torno 4-5A. Esta tecnología permite obtener una potencia específica de 2000mWh pero con una descarga continua de 20A. En la figura 2.17 se muestra un diagrama con sus características principales.

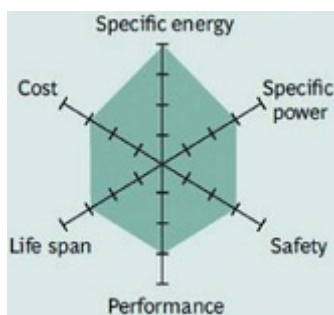


Figura 2.17: Diagrama NMC

- Litio hierro fosfato (LFP o LiFePO_4)

Las baterías de fosfato de hierro presentan un buen comportamiento químico con una baja resistencia. La clave de esta tecnología es que permite elevadas corrientes de descarga y un gran número de ciclos de vida, asegurando también una gran estabilidad térmica.

Como inconvenientes destacan que poseen una baja tensión nominal de celda (en torno a los 3.2V), lo que reduce la energía específica que puede ofrecer y tienen un elevado valor de auto-descarga respecto a otras tecnologías de litio, lo que puede conllevar problemas en sistemas de balanceo con el tiempo.

Como ventajas, las baterías de fosfato de litio son muy buenas en seguridad (no producen deflagración ni combustión al sobrecargarse o dañarse) y poseen un elevado número de ciclos de carga y descarga, aumentando notablemente su vida útil con respecto a otras tecnologías. En la figura 2.18 se muestra un diagrama con sus principales características.

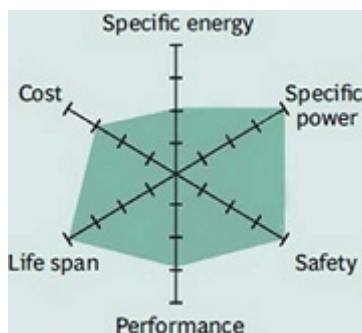


Figura 2.18: Diagrama LFP

- Litio níquel cobalto aluminio óxido (NCA o LiNiCoAlO_2)

Estas baterías suelen tener las mismas aplicaciones que las de tipo NMC debido a que también presenta una elevada energía específica y una potencia específica media alta con un buen número de ciclos de vida. Son muy utilizadas para aplicaciones de almacenamiento de energía en automoción y pequeñas instalaciones generadoras.

Por norma general son baterías con una corriente de descarga baja, los inconvenientes que presenta esta tecnología son el coste y la seguridad. En la figura 2.19 se muestra un diagrama con las principales características de este tipo de baterías.

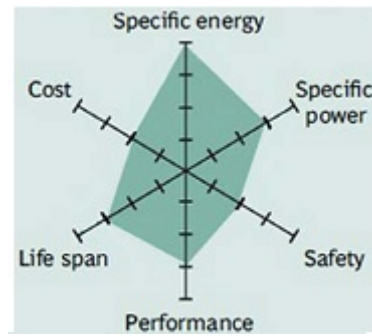
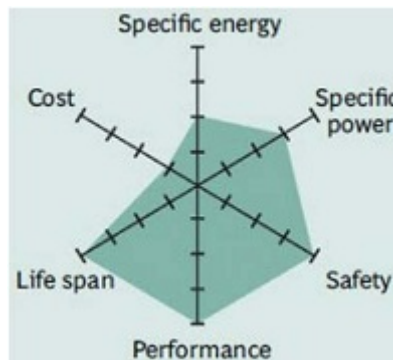


Figura 2.19: Diagrama NCA

- Litio titanato ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

Las características principales de las baterías de titanato de litio son: baja tensión nominal por celda (2.4V), carga rápida, descarga a 10C segura y con un excelente comportamiento térmico.

La principal desventaja de estas baterías es su elevado precio, presentando además una baja energía específica (65Wh/kg). En la figura 2.20 se muestra un diagrama con sus principales características.

Figura 2.20: Diagrama $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$

2.3.4. Comparativa entre las diferentes baterías de litio

La tabla mostrada en la figura 2.21 muestra un resumen con las principales características de las tecnologías de ion-litio expuestas en los puntos anteriores, para obtener una idea concisa y rápida de las ventajas e inconvenientes que presentan, por norma general, cada una de las tecnologías comentadas.

	Tensión Nominal (V)	Energía Específica (Wh/kg)	Corriente Carga	Corriente de descarga	Ciclos de vida
Óxido de Cobalto	3.6	150-200	0.7 – 1C	1C	500 - 1000
Óxido de manganeso	3.7	100-150	0.7-1C	1-10C (30C pulse 5s)	300 - 700
NMC	3.6-3.7	150-220	0.7 – 1C	1C (posible 2C)	1000 - 2000
LFP	3.2-3.3	90-120	1C	1C-25C (40A pulse, 2s)	1000 - 2000
NCA	3.6V	200-300	0.7C	1C	500
Titanato de Litio	2.4V	70-80	1C (5C máx)	10C (pulso 30C 5s)	3000 - 7000

Figura 2.21: Tabla comparativa de baterías de litio

En la gráfica mostrada en la figura 2.22 se añade a la comparativa anterior otras tecnologías de almacenamiento utilizadas, como el NiCd o el NiMH, comparando la densidad de energía de cada una.

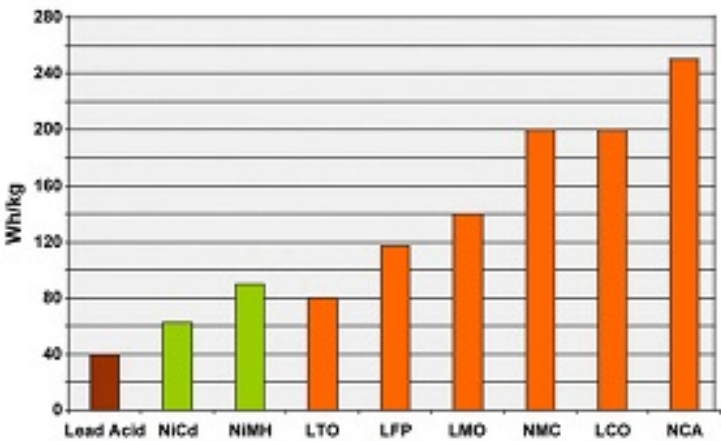


Figura 2.22: Comparativa de densidad de energía

2.4. Metodología en V

El método en V fue desarrollado por la Administración Federal Alemana para regular el proceso de desarrollo de software, describe las actividades y resultados obtenidos durante el desarrollo y proporciona una guía para la planificación de proyectos.

Se basa en una continua verificación y testeo de los productos desarrollados con el fin de que estos se ajusten en todo momento a las especificaciones deseadas, obteniendo un seguimiento continuo del correcto desarrollo del proyecto y ofreciendo la posibilidad de anticiparse a fallos o desviaciones y corregirlos.

El método de desarrollo en V consta de dos partes principales, una primera parte de definición del proyecto, donde se definirán sus componentes y funcionamiento y una parte de desarrollo y validación en la que se verificará que los avances obtenidos cumplan con las especificaciones pedidas.

Este método se basa en el diagrama mostrado en la figura 2.23:

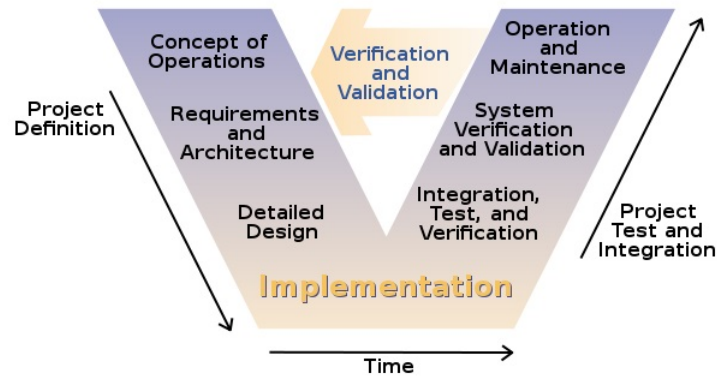


Figura 2.23: Diagrama de método en V

En este diagrama en V se pueden observar las dos partes anteriormente mencionadas de definición y validación y como se subdividen en varias fases fraccionando el desarrollo del proyecto en diferentes etapas.

La metodología a seguir para el desarrollo de un proyecto con el método en V consiste en comenzar con la definición del proyecto, concretando las especificaciones que debe cumplir, para esto se seguirán las fases de la columna izquierda de la V de forma descendente y especificando tanto de forma general como en detalle las partes que compondrán el proyecto.

Posteriormente y tras un período de implementación se se pasará a la columna de la derecha, recorriendo sus fases de forma ascendente, en estas fases se verificarán los productos creados, comprobando en cada etapa que cumplan con los requisitos propuestos y modificando las partes que fueran necesarias hasta cumplir las especificaciones pedidas.

Aunque es un método que inicialmente se diseñó para desarrollo de software se puede utilizar para proyectos de cualquier tipo, desarrollo de equipos, proyectos de investigación, instalaciones, etc.

2.4.1. Objetivos del método en V

Los principales objetivos que persigue este método, como guía a la hora de planificar y realizar proyectos son:

- Minimización de los riesgos del proyecto: mejora la transparencia y el control sobre el proyecto, asignando tareas y funciones de forma transparente a cada miembro del equipo y permite una detección temprana de las desviaciones y riesgos que puedan surgir.
- Reducción de los gastos totales durante el proyecto: el esfuerzo para el desarrollo, producción, operación y mantenimiento de un proyecto pueden ser calculados, estimados y controlados, haciendo posible un menor esfuerzo a la hora de desarrollar el proyecto.
- Garantía de calidad: al ser un modelo estándar asegura que los resultados que se obtengan serán completos y tendrán la calidad deseada, además los resultados intermedios obtenidos se pueden comprobar en una fase temprana.
- Mejora de la comunicación entre los inversionistas: La transparencia a la hora de describir los componentes del proyecto, los participantes y las tareas asignadas a cada uno facilita la comunicación entre todas las partes.

2.4.2. Partes del diagrama en V

A la hora de implementar la metodología de desarrollo en V se han de tener en cuenta las dos partes del diagrama en V la definición del proyecto y el posterior desarrollo y validación. Estas son las dos partes principales y bien diferenciadas en las que se basa el método de desarrollo en V para implementar su técnica de continuo desarrollo y verificación del proyecto durante el transcurso del mismo.

Una vez seleccionado el proyecto a realizar se comenzará por definirlo, concretando requerimientos de usuario, partes en detalle, etc. para ello se recorrerá la columna izquierda (definición del proyecto) de forma descendente, completando todas las etapas que la componen.

Posteriormente, una vez definido el proyecto en su totalidad se comenzará a recorrer la columna derecha del diagrama (desarrollo y validación) de forma ascendente, comprobando que en cada etapa se esté cumpliendo con las exigencias del proyecto definidas en la columna contraria del diagrama.

- **Definición del proyecto:** en esta fase se deben definir y documentar los diferentes requisitos del sistema a desarrollar, empezando por los requisitos generales que ha de cumplir el producto final, hasta posteriormente definir más en detalle las partes del mismo. Esta parte del diagrama consta de tres fases principales, conceptos de operación, requisitos del sistema y diseño en detalle, cada una de estas fases definirá el sistema desde un punto de vista más complejo que la anterior hasta conseguir finalmente una visión completa del proyecto a realizar.

Esta parte es muy importante en el desarrollo del proyecto ya que definirá como ha de ser el resultado final y las partes que lo compondrán, sirviendo de guía en la siguiente fase de desarrollo y validación para testear que cada componente creado cumpla con los requisitos y expectativas definidos.

- **Desarrollo y validación:** en esta fase los requisitos del sistema propuesto son recogidos analizando las necesidades de los usuarios con el fin de llevar a cabo la implementación del proyecto. El objetivo de esta parte del diagrama es desarrollar cada fase definida anteriormente en la columna izquierda del diagrama en V, testeando de forma continua que los avances en el desarrollo coincidan con las especificaciones pedidas en la parte de definición del proyecto correspondiente.

Esta parte del desarrollo en V se basa en tres fases principales: integración de las distintas partes, verificación y validación del sistema en conjunto y mantenimiento del sistema, cada una de estas fases se encargará de desarrollar y validar su parte correspondiente dentro de la definición del proyecto, con el fin de ir desarrollando todo el conjunto desde las unidades más pequeñas definidas hasta la validación total del proyecto.

2.4.3. Fases del método en V

Cada una de las dos partes que componen el método de desarrollo en V se subdividen en varias fases, las cuales cumplen una función concreta a la hora de definir, desarrollar y validar un proyecto.

Dentro de la parte de definición del método en V podemos encontrar las siguientes fases:

- **Conceptos de operación** El objetivo de esta fase es definir el comportamiento general del equipo, también es conocida como especificaciones de usuario. Se definirá lo que el equipo ha de hacer sin entrar en detalles de como ha de hacerlo, es la fase menos abstracta de todas y con menos nivel de detalle pero define el resultado final que ha de cumplir el proyecto.

- **Requisitos del sistema y arquitectura** En esta fase se entrará en más detalle a la hora de definir como estará compuesto el proyecto, es decir que partes compondrán la unidad final y como interactuarán entre ellas. El nivel de detalle y complejidad de esta fase pasa a ser mayor que el de la fase de conceptos de operación, definiendo los objetivos que ha de cumplir cada parte del proyecto pero sin entrar en detalle de como han de hacerlo.
- **Diseño en detalle** Esta es la fase con una mayor complejidad ya que en ella se definirá como ha de implementarse cada parte que forma el conjunto total del proyecto, para que cada una cumpla con las especificaciones exigidas en la fase de requisitos del sistema. En esta fase se definirá de una forma más técnica y en mayor profundidad los componentes y arquitectura que compondrán cada parte del conjunto total del proyecto, definiendo materiales, componentes concretos, etc.

Dentro de la parte de desarrollo y validación del método en V podemos encontrar las siguientes fases:

- **Integración de las distintas partes** En esta fase dentro de la parte de desarrollo y validación se desarrollarán los componentes y partes que compondrán el sistema final siguiendo las pautas y diseños propuestos en la fase de diseño en detalle, con el fin de desarrollar todas las partes del proyecto de la misma forma que se definieron y con la funcionalidad y requisitos exigidos.

Este es el primer paso del desarrollo del proyecto una vez definido y se realizará en base a las especificaciones proporcionadas en la parte de definición del proyecto, comprobando que estas se cumplan para cada desarrollo creado.

- **Verificación y validación del sistema en conjunto** Una vez que las partes del sistema están creadas y validadas se integrarán dentro del conjunto global del proyecto buscando que el conjunto final cumpla con las especificaciones pedidas.

Esta fase de la parte de validación se centra en cumplir los objetivos proporcionados en la fase de requisitos del sistema, para ello deberá integrar cada parte del proyecto ya creada y validada dentro del proyecto general tal y como se especifica en la fase de requisitos del sistema, validando que una vez realizada la integración de todas las partes dentro de un conjunto este cumpla con las especificaciones pedidas.

- **Mantenimiento del sistema** Esta es la fase final del desarrollo del proyecto, una vez que todo el proyecto está creado y validado sólo queda definir las acciones futuras que se llevarán a cabo sobre él, esta fase concretará las acciones futuras de mantenimiento, actualización, etc. que el proyecto necesitará para continuar funcionando correctamente en el futuro, validando siempre que estas acciones de mantenimiento se encuentren dentro de las especificaciones exigidas por el usuario.

2.4.4. Otros tipos de metodología para gestión de proyectos

A parte de la metodología en V existen muchos otros métodos de gestión para el desarrollo de proyectos, a continuación se expondrán de forma breve algunos de los más importantes:

- **Modelo cascada**

Las fases de este método (requisitos, análisis, diseño, etc.) se realizan de manera lineal, una única vez y el inicio de una fase no comienza hasta que termina la fase anterior. Su naturaleza es lineal, típica de la construcción de productos físicos y su principal desventaja es que no puede responder de forma clara a si el resultado obtenido después de una fase es el esperado o si puede provocar problemas en fases siguientes.

En la figura 2.24 se puede observar un diagrama típico de un modelo en cascada.

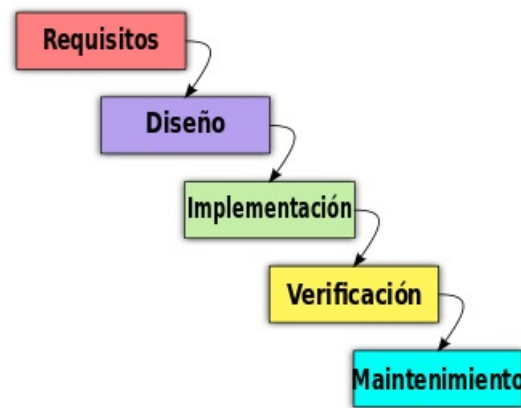


Figura 2.24: Diagrama de modelo en cascada

- Modelo espiral

En este modelo, el esfuerzo de desarrollo es iterativo, al finalizar una fase de desarrollo, otra comienza (cada fase de desarrollo se compone de una vuelta completa al diagrama espiral).

En cada fase de desarrollo se siguen normalmente cuatro pasos básicos:

1. Determinar el objetivo.
2. Determinar las rutas alternativas que puedes tomar para alcanzar el objetivo.
3. Seguir la alternativa seleccionada en el paso 2.
4. Establecer los objetivos que ya se han alcanzado.

En la figura 2.25 se puede observar un diagrama típico de un método en espiral.

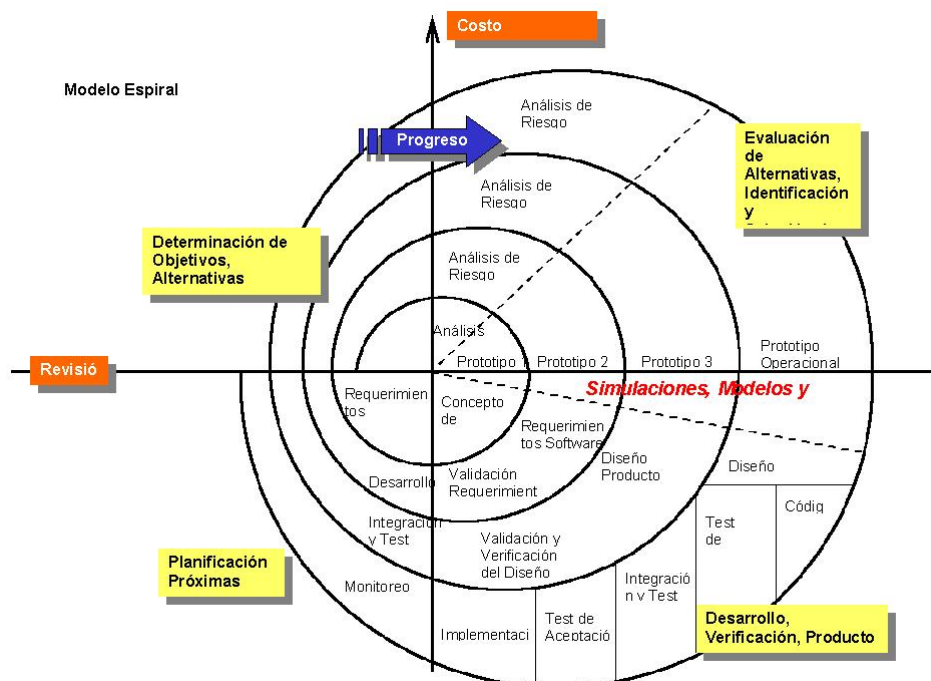


Figura 2.25: Diagrama de modelo en espiral

Como principales ventajas cabe destacar que reduce riesgos del proyecto e incorpora objetivos de calidad, como principales desventajas se tiene que es un modelo costoso y genera mucho tiempo en el desarrollo del sistema.

■ Modelo de prototipos

Este modelo pertenece a los modelos de desarrollo evolutivo, su principal objetivo es realizar el proyecto en poco tiempo, con las herramientas adecuadas y consumiendo pocos recursos. Se centra básicamente en obtener unas especificaciones de usuario del proyecto a realizar y tras una implementación rápida ver si cumple estas especificaciones.

Este tipo de modelos es útil cuando se necesita que el producto cumpla sólo unas especificaciones generales, sin importar como lo haga, como principal desventaja del método cabe destacar que el producto final no siempre cumple con todas las especificaciones pedidas de la forma que se esperaba.

En la figura 2.26 se muestra un diagrama de un modelo prototipo.

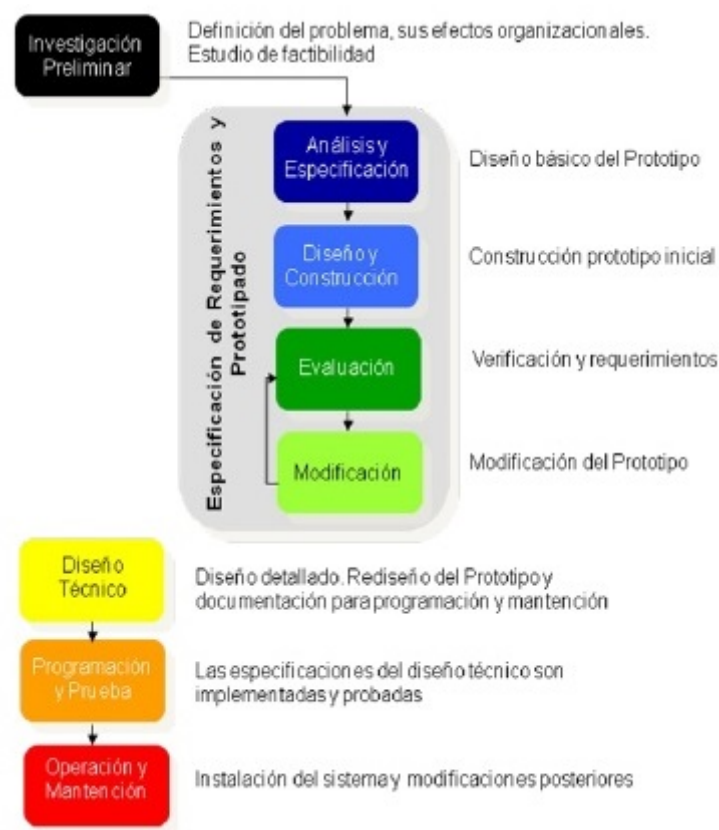


Figura 2.26: Diagrama del modelo prototipo

2.5. Conclusiones

Una vez analizado el concepto de smart grid y el papel que juega cada nodo de la red en el sistema de energía distribuido que propone esta red, se hace necesaria la implementación de sistemas de generación y almacenamiento para que cada nodo pueda realizar las funciones de gestión necesarias.

Como pequeñas fuentes de generación sostenible, los sistemas basados en energías renovables se consolidan como la alternativa más viable para implementar la generación de energía de los nodos de la smart grid, debido a su versatilidad, la reducción de precio que han experimentado

en los últimos años y su bajo impacto ecológico, teniendo en contraposición que la energía generada no es constante si no que depende de las condiciones climáticas externas.

En cuanto a los sistemas de almacenamiento, se han expuesto una lista de alternativas dentro de las cuales destacan los sistemas de almacenamiento basados en transformaciones químicas y en concreto las baterías. Estos sistemas de almacenamiento son sistemas muy versátiles, con capacidad de ceder y absorber carga cuando demande el usuario del sistema. Dentro de los sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías destacan actualmente los basados en baterías de litio, debido a la alta densidad de carga de estas baterías y la reducción de precio en el mercado que han experimentado actualmente.

Por lo tanto los sistemas de almacenamiento basados en baterías de litio, se han consolidan como una de las mejores opciones a la hora de ofrecer a una smart grid un sistema de almacenamiento versátil, robusto y eficiente, con el fin de proporcionar a los nodos de la red capacidad de almacenamiento y gestión de los recursos generados.

Capítulo 3

Diseño

3.1. Introducción

En este apartado se concretarán las necesidades exigidas por el usuario así como la arquitectura general y especificaciones del sistema. Con el fin de enmarcar el desarrollo del equipo dentro de un método jerárquico y organizado (método de desarrollo en V), se dividirá este desarrollo en tres partes diferentes: especificaciones de usuario, de componentes y de detalle. Estas partes proporcionarán un nivel de abstracción mayor al describir el equipo creado conforme se avance desde las especificaciones de usuario a especificaciones de detalle.

A la hora de avanzar dentro de estos niveles se definirán las diferentes partes en las que se dividirá el sistema para lograr, finalmente, satisfacer las especificaciones de usuario. En un primer nivel, nivel de usuario, se detallarán las especificaciones que el producto final ha de cumplir, sin entrar en más detalle. Dentro del nivel de componentes se expondrá que partes deberán formar el equipo y cual será su función. Finalmente en el nivel de detalle se especificará que requisitos ha de cumplir cada parte que forma el equipo, con el fin de conseguir las especificaciones deseadas.

Esta parte de especificaciones del proyecto se enmarcaría dentro de la metodología de desarrollo en V, en la columna izquierda del diagrama denominada definición de proyecto. Esta columna se basa en definir el proyecto que se va a llevar a cabo, dividiendo el mismo en partes que van desde las especificaciones generales del proyecto, hasta definir en detalle los componentes que lo formarán. Cada elemento de la columna de definición de proyecto lleva asociado su correspondiente desarrollo y validación en la columna derecha del desarrollo en V, tal y como se muestra en la figura 3.1, con el fin de validar cada etapa del proyecto.

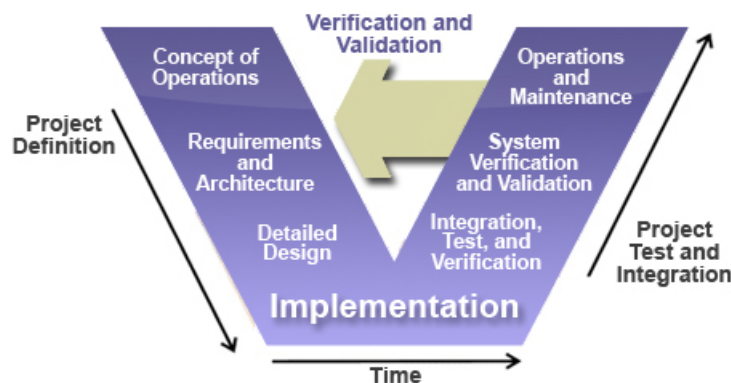


Figura 3.1: Diagrama de desarrollo en V

3.2. Especificacion usuario

En este apartado se especificarán las necesidades que ha de cubrir el equipo, sin entrar en detalle de cómo ni en qué componentes se basará para hacerlo.

A la hora de especificar los requisitos del equipo se tendrán en cuenta tres puntos principales, las características funcionales del mismo, las características operacionales y finalmente los requerimientos de robustez y mantenimiento.

3.2.1. Características funcionales

Las características funcionales concretarán las especificaciones físicas que el equipo ha de cumplir, tales como características eléctricas, de seguridad, dimensiones máximas, etc.

- Características eléctricas

1. Potencia nominal:31Kw(0.6C)
2. Potencia máxima:138Kw(2.5C)
3. Capacidad:75Ah
4. Tensión nominal en bornas:635V
5. Tensión máxima en bornas:760V
6. Tensión mínima en bornas:540V
7. Intensidad nominal de descarga:45A.(0.6C)
8. Intensidad máxima de descarga:200A.(2.5C)
9. Intensidad pico de descarga:375A.(3.5C)

- Características físicas

- Tamaño del equipo final:El equipo será montado en un armario rack estandar de 600x900x2055mm.
- Peso del equipo final:El peso máximo de todo el equipo no debe superar los 700Kg.

- Características de modularidad

- Todos los componentes del equipo han de tener carácter modular, con el fin de facilitar labores de reparación, sustitución y montaje.
- Constará de un total de 8 unidades principales de almacenamiento conectadas entre sí.
- Cada unidad de almacenamiento será completamente modular e intercambiable.
- Las conexiones de potencia y comunicación se situarán en los frontales del equipo con el fin de facilitar su uso.
- Todo el equipo quedará almacenado en una estructura de armario rack.
- La única parte del equipo externa a la estructura principal será un PC que se conectará por bus CAN al armario principal.

- Características de seguridad

- El equipo ha de quedar física y eléctricamente protegido en todo momento.

- Una vez montado el armario principal este ha de poder cerrarse evitando dejar conexiones de potencia accesibles.
 - El equipo ha de tener protección contra sobre intensidades mantenidas mediante fusibles.
 - Se deben implementar mecanismos de protección contra sobre tensiones.
 - Se debe proteger al equipo contra picos de corriente.
 - El control central ha de ser capaz de proteger el equipo contra situaciones que puedan dañar las celdas que lo componen (sobrecarga, temperaturas altas...).
 - El equipo ha de ser capaz de conectarse y desconectarse del resto de la instalación eléctrica cuando lo considere oportuno.
- Características de comunicación
 - Ha de implementarse un bus de comunicaciones capaz de soportar el tráfico de datos de todo el equipo.
 - En el bus de comunicaciones se incluirán como nodos todas las partes activas del equipo.
 - El bus implementado trabajará con protocolo CAN 2.0A.
 - EL bus debe ser accesible desde el exterior con el fin de poder conectar dispositivos externos para comunicación o testeo del mismo.
 - El bus ha de ser lo suficientemente robusto como para aguantar perturbaciones externas sin que la comunicación se vea afectada.
 - Características de interacción con el usuario
 - El equipo ha de implementar dispositivos que le permitan al usuario poder conocer de forma visual y rápida el estado del equipo.
 - Se implementarán unos indicadores por leds para visualizar de forma continua el estado del equipo.
 - Se creará un sistema SCADA que le permitirá al usuario visualizar los parámetros del equipo e interactuar con él.
 - A la hora de actuar sobre el equipo se pondrá a disposición del usuario una serie de controles externos destinados a tal fin.
 - El equipo dispondrá de una seta de parada de emergencia que desconectará al equipo del bus de continua.
 - El equipo dispondrá de un interruptor general que cortará la alimentación de toda la parte de control.
 - Todos los dispositivos de interacción con el usuario han de encontrarse fuera del armario principal, con el fin de disminuir el riesgo eléctrico al manipularlos.

3.2.2. Características operacionales

Las características operacionales definirán cómo ha de funcionar el equipo. Para ello se definirán funcionalidades de seguridad, de funcionamiento y de comportamiento.

- Modos de funcionamiento del equipo: A la hora de garantizar un funcionamiento continuo el equipo deberá tener varios estados definidos en función de las condiciones en las que se encuentre el equipo y su entorno. Con el fin de obtener las condiciones de funcionalidad y seguridad deseadas, estos estados o modos de funcionamiento deberán realizar unas acciones concretas sobre el equipo que consigan garantizar el correcto funcionamiento del mismo en todo momento.

El equipo deberá trabajar en los siguientes modos de funcionamiento:

- Modo de inicialización: El equipo deberá tener un funcionamiento de inicialización cada vez que se active, en este modo se inicializarán todos los dispositivos, estableciendo valores por defecto de variables y funciones, acciones iniciales etc.

En este modo de funcionamiento el equipo ha de permanecer desconectado de la red en todo momento, ya que no tendrá control sobre el sistema hasta que no esté completamente inicializado.

Una vez realizadas todas las acciones de inicialización necesarias se ha de comprobar el estado del equipo y del bus de continua antes de dar la opción al usuario de pasar al siguiente modo de funcionamiento, el modo de funcionamiento correcto, si las condiciones del bus o del equipo no fuesen las correctas se bloquearía el paso al siguiente modo.

- Modo de funcionamiento correcto: Este modo estará activo siempre que el equipo se encuentre dentro de las condiciones correctas para su funcionamiento, es decir, siempre que todos los parámetros del equipo estén dentro de los rangos de funcionamiento correctos.

Cuando el equipo se encuentre en este modo estará conectado a la red en todo momento, haciendo un continuo chequeo de todos los parámetros del equipo por si alguno de ellos produjera en algún momento una situación de error.

Si se produce una situación de error (parámetros fuera de rango) o el usuario lo estima oportuno, el equipo pasará al modo de error de forma inmediata, donde se desconectará del bus de continua.

- Modo de error: Este modo estará activo siempre que algún parámetro del equipo (tensión de celda, temperatura...) se encuentre fuera de rango o el usuario decida poner el equipo en modo error.

Cuando el equipo se encuentre en este modo de funcionamiento estará desconectado de la red en todo momento, chequeando de forma continua los parámetros del sistema por si la situación de error dejase de existir.

Si la situación de error se soluciona el equipo pasará automáticamente al modo de funcionamiento correcto, siempre que el usuario lo estime oportuno, pudiendo mantener el equipo en situación de error aunque los parámetros del mismo fuesen correctos.

- Interacción con el usuario: Para obtener un equipo completamente funcional, el usuario ha de ser capaz de interactuar con él de tal forma que pueda visualizar y actuar sobre los parámetros del equipo en todo momento. Con el fin de obtener las funcionalidades de monitorización y actuación deseadas se deben implementar tanto en el equipo como de forma externa al mismo los siguientes sistemas de visualización y actuación.

- Sistema de realimentación visual: Para proporcionar al usuario información clara sobre el estado y parámetros del equipo se desarrollará un sistema de visualización.

El equipo ha de implementar unos indicadores visuales luminosos que permitan al usuario visualizar, de forma rápida y clara el estado en el que se encuentra el equipo en todo momento, estos indicadores luminosos se instalarán en el frontal del equipo en una zona visible.

De forma externa al equipo se implementará también un sistema SCADA que muestre al usuario los parámetros del equipo y del bus de continua en tiempo real, este SCADA deberá monitorizar datos como: la tensión individual de las celdas, tensión de bus, intensidad que recorre el bus, potencia consumida, estado de carga y temperatura del sistema.

- Sistema de actuación: Con el fin de proporcionar al usuario una actuación directa sobre el estado del equipo se desarrollará un sistema de actuación.

Como medida de actuación en caso de emergencia se ha de dotar al equipo de un interruptor de emergencia que lo desconecte de la red al ser accionado, este interruptor se encontrará fuera del armario principal para poder accionarlo sin riesgo eléctrico.

El equipo tendrá un interruptor de encendido general que le dará al usuario la posibilidad de desconectar el equipo completo, tanto de la red de potencia como de la red eléctrica, reseteando así todo el control del equipo.

El usuario también ha de poder controlar el equipo desde el sistema SCADA, proporcionándole las órdenes necesarias para que trabaje en un modo de funcionamiento u otro y permitiendo también una acción directa sobre el estado del equipo en la red, comandando su conexión y desconexión desde el sistema SCADA.

- Funcionamiento sin alimentación: El equipo ha de garantizar un correcto funcionamiento en caso de fallo de la alimentación de red de la que depende el control. En caso de fallo de la alimentación del control el equipo ha de disponer de una fuente de alimentación auxiliar continua, de tal forma que no se produzca un apagón inmediato del equipo al fallar la alimentación principal.

Esta fuente auxiliar de alimentación ha de ser capaz de suministrar al control la energía necesaria para que este lleve a cabo una desconexión controlada de la red y del equipo sin sufrir un corte de suministro total en ningún momento.

3.2.3. Robustez y mantenimiento

Las especificaciones de robustez y mantenimiento determinarán los requisitos de funcionamiento a cumplir una vez instalado el equipo, definiendo las acciones de mantenimiento necesarias y el comportamiento del equipo en situaciones poco habituales.

- Acciones de mantenimiento: Una vez instalado el equipo en el lugar de funcionamiento habitual este ha de funcionar de forma autónoma, sin necesidad de mantener una vigilancia o acciones especiales sobre el mismo siempre que esté trabajando en condiciones normales de funcionamiento.

El mantenimiento del equipo por lo tanto ha de ser mínimo, limitándose únicamente a la sustitución de las partes que por el propio uso del equipo puedan deteriorarse. Las partes principales del equipo que sufren deterioro con el uso son las celdas de baterías y los contactores mecánicos que han de ser sustituidos al llegar al final de su vida útil.

Para garantizar un tiempo de operación lo suficientemente largo las baterías del equipo han de tener una vida útil de al menos 3000 ciclos de carga y han de ser sustituidas cuándo se encuentren al 80 % de capacidad de la que traían de fábrica.

En cuanto a los contactores han de ser lo suficientemente robustos como para aguantar al menos 2000 conmutaciones del equipo en carga antes de finalizar su vida útil, debiendo ser sustituidos por otros con las mismas características al alcanzar el límite de funcionamiento.

- Condiciones de robustez: El equipo deberá cumplir en todo momento unas condiciones mínimas de robustez que le permitan funcionar con normalidad ante situaciones anómalas, entornos industriales y fallos de alimentación.

El equipo deberá estar preparado para trabajar en entornos industriales, proporcionando un aislamiento suficiente en la parte de control y comunicaciones de tal forma que ninguna de ellas vea afectado su funcionamiento por interferencias magnéticas, picos de tensión, ruidos causados por conmutaciones de equipos cercanos y en definitiva cualquier parámetro que pueda perjudicar su funcionamiento.

El control del equipo ha de ser capaz de minimizar los daños que se puedan producir en el mismo por un funcionamiento fuera del rango para el que se ha diseñado, el control monitorizará de forma continua los parámetros del equipo y lo desconectará de la red lo antes posible si detecta cualquier parámetro, ya sea interno (tensión de baterías, temperatura...) o externo (tensión de bus, intensidad...) fuera del rango permitido.

En caso de fallos en la alimentación principal el equipo ha de ser capaz de garantizar una desconexión controlada y completa de la red, apoyándose para ello en fuentes de alimentación auxiliares.

- Situaciones fuera de los límites del equipo: Por motivos de seguridad el equipo no deberá superar en ningún momento los límites de tensión, corriente o temperatura citados a continuación.
 - Tensión superior límite del equipo: 1000Vdc
 - Tensión inferior límite del equipo: 200Vdc
 - Temperatura máxima límite del equipo: 70°C
 - Corriente pico máxima del equipo: 500A

Si en algún momento cualquiera de estos límites es rebasado el equipo deberá desconectarse automáticamente de la red, proporcionando al usuario un código de error que le permita identificar el fallo.

3.3. Especificación de componentes

En este apartado se especificarán los componentes de los que constará el equipo, se explicará de que estará formado cada uno y su función dentro del conjunto de producto final.

A la hora de diseñar el equipo se ha optado por una arquitectura modular, en la cual se deben cubrir las especificaciones de usuario ensamblando varios módulos con diferentes características. El equipo principal estará formado en su mayor parte por los siguientes componentes: batería simple, bloque de baterías y bandeja, que se encargarán de la parte de almacenamiento eléctrico y estarán apoyados finalmente por un módulo de protecciones y control y un módulo de monitorización y actuaciones.

El bloque de baterías estará formado por varias baterías simples, la bandeja de baterías por varios bloques de baterías y el equipo final por varias bandejas.

3.3.1. Clasificación de componentes

Los componentes del equipo se dividirán en dos partes bien diferenciadas, parte de potencia, donde se implementarán todos los componentes del equipo destinados al almacenamiento de energía y parte de control, donde se implementarán todos los componentes dedicados a gestionar la parte de potencia y comunicarse con el usuario.

En base a esta clasificación básica se va a separar el conjunto total de los componentes del equipo en varios módulos a la hora de definir las especificaciones necesarias para ellos, estos módulos son: el módulo de potencia, módulo de protecciones, módulo de control, módulo de comunicaciones y el módulo de motorización e interacción con el usuario.

Estos módulos se distribuyen dentro de las dos partes principales del equipo como se muestra en el diagrama de la figura 3.2.

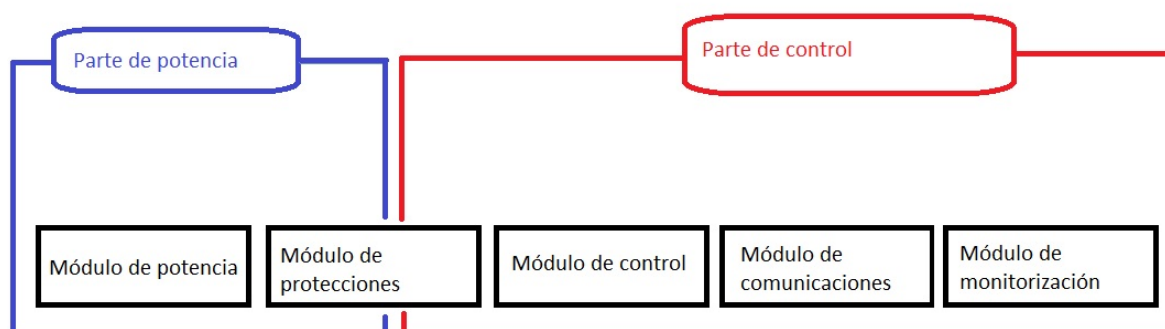


Figura 3.2: División de las partes principales en módulos

A continuación se especificará con más detalle las características que deben tener y las funciones específicas que ha de cumplir cada módulo concreto.

3.3.2. Módulo de potencia

En este módulo se encuadran las partes destinadas a almacenar carga dentro del equipo, estas son la batería simple, bloque de baterías y bandeja. La jerarquía que siguen estos componentes es la mostrada en la figura 3.3, la bandeja estará compuesta de bloques de baterías y estos a su vez de baterías simples.

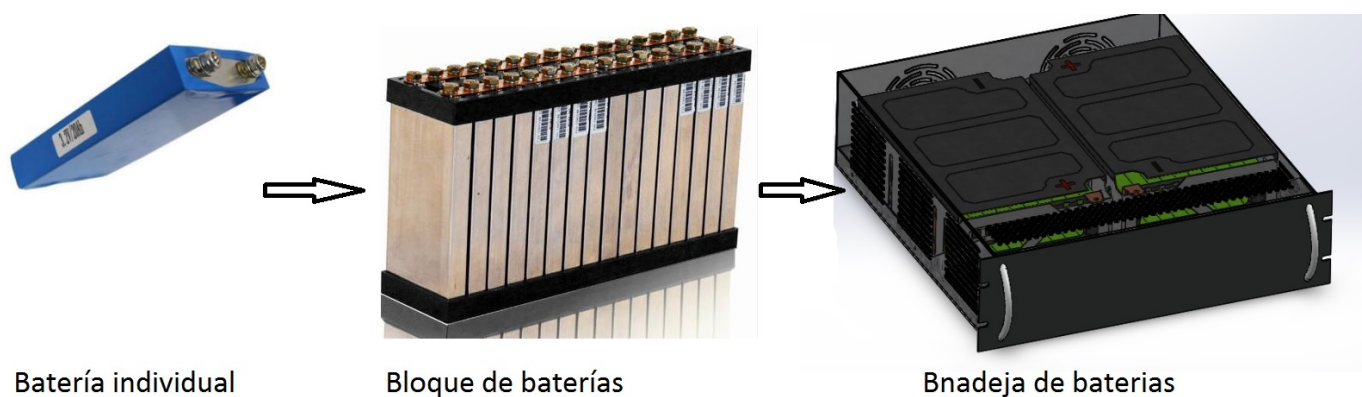


Figura 3.3: Jerarquía de los módulos de almacenamiento

- Batería simple

La batería simple será una celda independiente de energía, la cual será la unidad mínima del equipo y se utilizará como base para formar el módulo superior. Esta batería deberá de ser capaz de almacenar energía, cargarse y descargarse dentro de las necesidades especificadas por el usuario sin que esto produzca ningún tipo de deterioro en el componente, más allá del generado por el propio uso del mismo.

Deberá cumplir unas condiciones suficientes de peso y tamaño para que al realizar su ensamblaje en módulos superiores se respeten las limitaciones físicas del equipo especificadas. En la figura 3.4 se muestra una ilustración de este tipo de baterías



Figura 3.4: Celda individual

- Bloque de baterías

El bloque de baterías será la unidad modular intermedia del equipo, estará formada por varias baterías simples y a su vez se utilizará como sub módulo de la bandeja. Este bloque de baterías ha de cumplir unas condiciones físicas que permitan cumplir las especificaciones de usuario, tanto eléctricas como de tamaño y peso.

En cuanto a seguridad el bloque de baterías ha de garantizar condiciones suficientes de aislamiento eléctrico, con el fin de evitar que se produzcan derivaciones no deseadas de corriente en los demás puntos del equipo.

Cada bloque tendrá una gestión independiente del resto, con un control propio que garantizará condiciones optimas de funcionamiento y seguridad en todo momento. En la figura 3.5 se muestra una ilustración de un bloque de baterías.

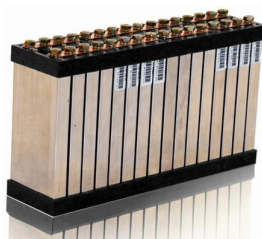


Figura 3.5: Bloque de baterías

- Bandeja

La bandeja será el bloque final del equipo, formada por varios bloques de baterías, esta bandeja cumplirá con unas condiciones eléctricas, de tamaño y peso tal que permitan cumplir las especificaciones de usuario. Con el fin de poder conectar varias bandejas entre sí como módulos finales, estas ofrecerá los terminales necesarios de conexión, siendo estos de fácil acceso y uso a la hora de realizar montajes.

Estas bandejas han de tener un bus de comunicaciones que les permita enviar información a un sistema de monitorización, con el fin de poder conocer en todo momento y en tiempo real el estado de cada bandeja y del equipo en general.

Cada unidad ha de garantizar las condiciones de seguridad suficientes para evitar derivaciones de corriente no deseadas, ya sea a través del chasis del propio equipo o a través de cualquier persona que pudiera tener acceso a ella. En la figura 3.6 se muestra una ilustración de una bandeja de baterías.

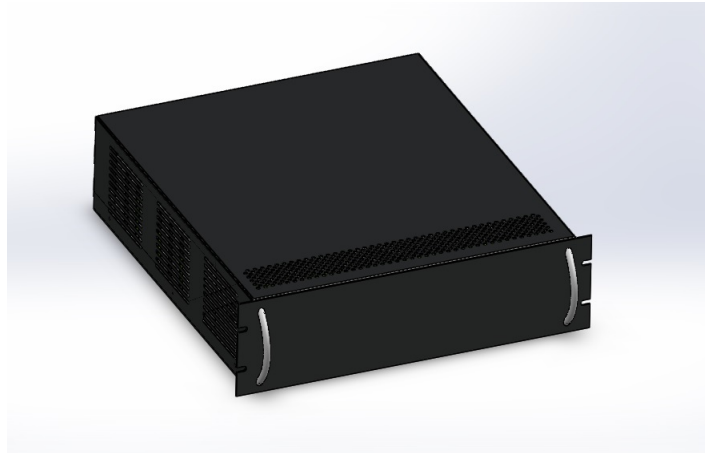


Figura 3.6: Bandeja de baterías

3.3.3. Módulo de protecciones

Este módulo será el encargado de realizar las acciones de protección eléctrica para el equipo, estará compuesto por dos componentes principales, fusibles y contactores, estos protegerán al equipo de situaciones que puedan ser perjudiciales para el mismo.

El módulo de protecciones montará junto al equipo, en forma de bandeja similar a las de almacenamiento de energía descritas anteriormente, pero con las características necesarias para cumplir su función, debiendo también adaptarse a las especificaciones de tamaño y peso del equipo final.

La distribución general de los dispositivos de protección se muestran en la figura 3.7.

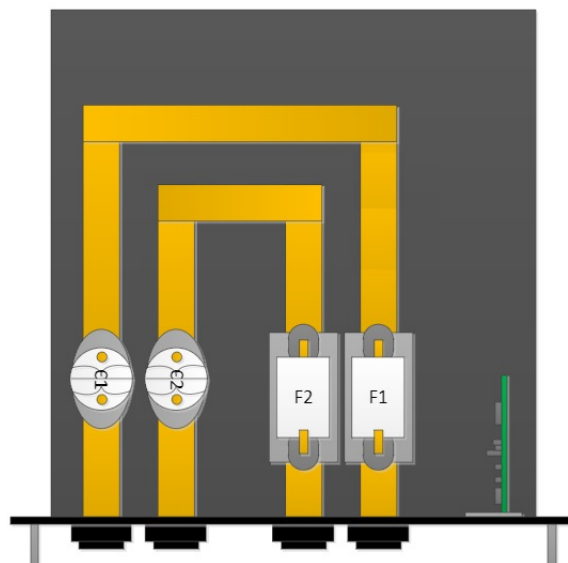


Figura 3.7: Elementos del módulo de protecciones

Como se puede observar en la figura, el módulo consta fundamentalmente de dos elementos principales:

- **Fusibles de protección:** Los fusibles protegerán al equipo de sobre intensidades mantenidas y picos de corriente que puedan producirse en el bus de continua. Con el fin de cumplir con las especificaciones de usuario, estos fusibles deberán proteger el equipo para sobre intensidades mantenidas de más de 200A y picos de corriente de más de 400A.

Estos fusibles han de ser siempre la última barrera de protección del equipo, ya que en el bus de continua se deben implementar también unos contactores que, controlados por el control central del equipo, lo desconecten de la red ante eventos que puedan dañarlo.

- **Contactores:** Los contactores actuarán como mecanismos de protección y control del equipo, estarán comandados por el control central. Estos contactores tiene la misión de desconectar al equipo del bus de continua cuando se produzcan situaciones que puedan dañar el mismo.

Estarán comandados por el control central que tomará periódicamente medidas del bus de continua y decidirá en base a los datos obtenidos y las decisiones tomadas por el usuario si desconectar el equipo de la red a través de los contactores.

Para cumplir con las especificaciones de seguridad pedidas, estos contactores han de ser capaces de aguantar intensidades mantenidas de hasta 200A. y picos de corriente de hasta 400A, con una capacidad de aislamiento de al menos 1KV.

3.3.4. Módulo de control

Este módulo es el encargado de gestionar el estado del equipo, tomando información de las diferentes partes y actuando en base a los datos obtenidos. También ha de ofrecer información al módulo de monitorización para que el usuario visualice en todo momento el estado del equipo y realizar actuaciones sobre los contactores de protección.

Este módulo se implementará físicamente dentro de las diferentes bandejas que componen el equipo, situando controles locales en las bandejas de potencia y un control central en la bandeja de alimentación.

El esquema de control que seguirá este módulo de control se muestra en la figura 3.8.

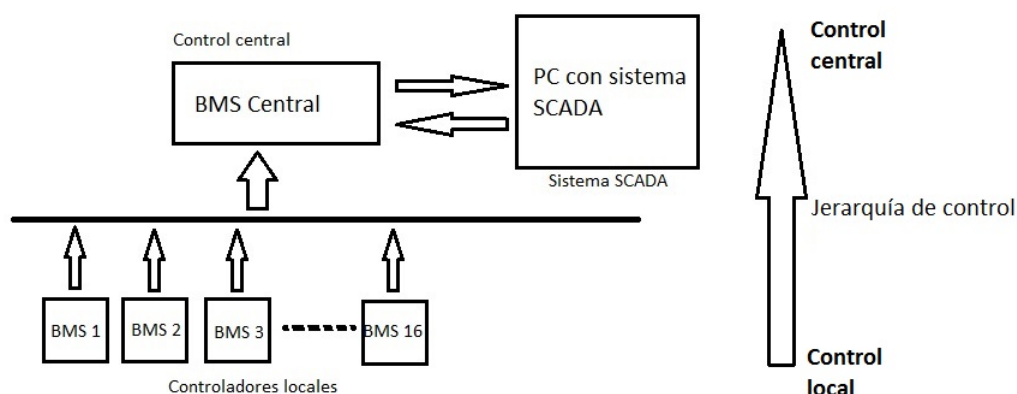


Figura 3.8: Jerarquía de control de los dispositivos

Como se observa en la figura 3.8 se puede dividir el módulo de control en dos partes principales:

- **Control local:** El control local se implementará dentro de cada bandeja de alimentación, este control se encargará de gestionar a nivel local los parámetros de cada bandeja de

alimentación. Controlando en todo momento los parámetros de tensión y temperatura de las celdas e implementando acciones de balanceo sobre las mismas, con el fin de mantener una correcta ecualización de todas las celdas en serie.

A la hora de comunicarse con el control central, este control local implementará una serie de comunicaciones por bus CAN que se transmitirán por el bus de comunicaciones principal del equipo. Mediante este bus el control local se deberá comunicar en todo momento el estado de la bandeja que está gestionando y avisando de posibles incidencias que pudieran ocurrir.

- **Control central:** El control central se implementará dentro de la bandeja de protecciones, contará con una unidad de procesamiento más potente que la de los controles locales. Recibirá constantemente información tanto de los controles locales como del bus de continua del equipo, a través de sensores implementados en el mismo.

En base a las informaciones recibidas y el modo de funcionamiento en el que se encuentre, el control central realizará de forma continua las acciones de control sobre el equipo para garantizar su correcto funcionamiento.

Este control central implementará un periférico de comunicaciones por CAN bus, a través del cual se comunicará con los controles locales y un sistema SCADA, intercambiando información y proporcionando al usuario información y control sobre el equipo.

3.3.5. Módulo de comunicaciones

Este módulo es el encargado de proporcionar al equipo las comunicaciones necesarias entre las diferentes partes del mismo para garantizar su correcto funcionamiento. Comunicará cada BMS local con el central y a su vez con el sistema SCADA del equipo, garantizando que estas comunicaciones se realicen sin pérdida ni deterioro de la información.

Las partes principales de este módulo son el bus principal de comunicaciones y los nodos, que serán las diferentes partes de equipo que para recibir o enviar información se conecten al bus de datos. En la figura 3.9 se puede observar un diagrama de la distribución física que deberá tener el bus.

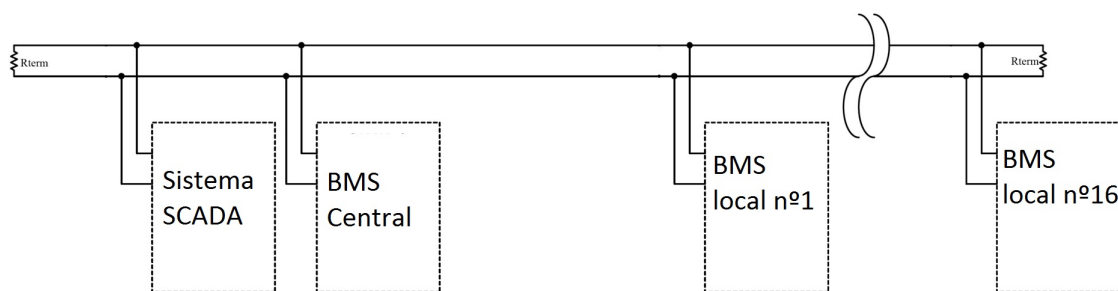


Figura 3.9: Distribución del bus CAN

Como se puede observar en la figura 3.9, el módulo de comunicaciones se compone de dos partes principales:

- **Bus principal de comunicaciones:** El bus principal de comunicaciones es físicamente un par trenzado de conductores a través del cual se implementará un protocolo de comunicación CAN 2.0A. Este bus de comunicaciones recorrerá todo el equipo, garantizando la accesibilidad a todos los componentes que necesiten comunicarse.

A la hora de desarrollar físicamente el bus se seguirán en todo momento las guías estándar de implementación física del mismo, garantizando un bus lo suficientemente robusto para cumplir las especificaciones de usuario. Este bus se implementará en un cable apantallado de 5 hilos, en el que además de las líneas de comunicación (CANH y CANL) se transportarán las líneas de alimentación para los dispositivos del bus que lo necesiten.

- **Nodos:** Los nodos serán todos los dispositivos del equipo que en mayor o menor medida necesiten transmitir o recibir información, estos nodos deberán implementar de forma local los medios necesarios para poder conectarse al bus y transmitir o recibir la información deseada.

Los principales nodos del equipo son, los BMS locales, el BMS central y el sistema SCADA, cada uno de estos nodos pueden presentar diferentes modos de comunicación (pregunta respuesta, comunicación continua, etc.), pero todos han de ser compatibles y estar soportados sobre CAN 2.0A, quedando al final del desarrollo un mapa de comunicaciones CAN totalmente definido, en el que aparezcan todas las tramas que se transmitirán por el bus de comunicaciones del equipo.

3.3.6. Módulo de monitorización e interacción con el usuario

Este módulo será el encargado de interactuar con el usuario final del equipo, proporcionándole toda la información necesaria sobre el estado del equipo y acciones de actuación para poder modificar el estado del mismo. Los componentes de este módulo se situarán tanto dentro del equipo principal (interruptores, setas de emergencia...) como de forma externa al mismo (PC).

Los principales componentes de este módulo se pueden dividir en una sección de monitorización y una de actuación, cada una con una finalidad y unos componentes propios.

- **Sección de monitorización:** La sección de monitorización será la encargada de proporcionar al usuario de una forma visual y rápida el estado del equipo y el valor de los diferentes parámetros del mismo, los principales componentes de monitorización han de ser los leds de estado y el sistema SCADA.

Los leds de estado han de proporcionar al usuario información sobre el estado del equipo de una forma visual y rápida, estos leds de estado se implantarán dentro del equipo principal, en el frontal del mismo, donde sean fácilmente visualizables.

El sistema SCADA se implementará en un PC externo al equipo y proporcionará al usuario una información más completa sobre los parámetros del equipo, los parámetros del bus de continua e información sobre los posibles errores que se puedan estar produciendo dentro del equipo o el bus.

- **Sección de actuación:** Esta sección es la encargada de proporcionar al usuario control sobre el equipo final. Ya sea por medidas de mantenimiento o seguridad, esta sección le proporciona al usuario la capacidad de poder conectar o desconectar al equipo de la red si así lo considera necesario. Los principales componentes de esta sección son la seta de seguridad y el sistema SCADA.

Se le dotará al equipo de una seta de parada de emergencia, la cual al ser pulsada desconectará inmediatamente el equipo del bus de continua, esta seta de seguridad se situará en el equipo principal, fuera de cualquier zona que pueda tener riesgo eléctrico. En la figura 3.10 se puede observar una imagen de una seta de parada de emergencia.



Figura 3.10: Seta de emergencia

Otra posibilidad de conectar o desconectar el equipo del bus de continua ha de ser a través del sistema SCADA, el cual estará implementado dentro de un PC externo al equipo principal, este SCADA ha de tener controles que permitan al usuario comandar la conexión o desconexión del equipo de la red, actuando desde el PC en el que está implementado el sistema SCADA

3.4. Especificación de detalles

En esta sección se detallará en mayor profundidad cada componente del equipo, entrando en un mayor detalle sobre las especificaciones concretas que ha de cumplir y como ha de realizarlas.

Se definirá la cantidad y tipo de componentes de los que constará cada módulo del equipo, concretando también el montaje de cada módulo dentro del equipo final.

3.4.1. Detalle del módulo de potencia

Para cumplir con las especificaciones de usuario y de componentes del equipo, el módulo de potencia deberá estar formado por los siguientes componentes:

- Detalle de batería simple

Para satisfacer las especificaciones de usuario, la celda simple deberá poseer las siguientes características:

-Características eléctricas:

- Capacidad: deberá tener una capacidad mínima de 75Ah para cubrir las necesidades del equipo completo.
- Descarga nominal: con 75Ah su capacidad de descarga nominal ha de ser como mínimo de 0,5C.
- Descarga pico: con 75Ah de capacidad ha de poder soportar unos picos de al menos 2C.
- Tensión nominal: la tensión nominal de cada batería, para poder cumplir las especificaciones de tensión en bornas del equipo ha de ser de al menos 3V, no bajando su tensión mínima de 2.2V.

-Características físicas:

- Tamaño: las baterías individuales han de tener forma prismática para facilitar el montaje en en los módulos superiores y con unas dimensiones menores de 200x300x20 mm.

- **Peso:** el peso de estas baterías no ha de exceder los 2Kg, con el fin de cumplir las especificaciones de usuario al montar el equipo.

■ **Detalle de bloque de baterías**

El bloque de baterías estará compuesto por ocho baterías simples, estas baterías estarán conectadas en serie entre sí con el fin de alcanzar las especificaciones de tensión nominal del equipo.

Cada bloque de baterías ha de gestionar y controlar sus baterías de forma local, comunicando el estado de las mismas en todo momento por si se produjera algún error, por lo tanto ha de existir en cada bloque un control local que se encargue de balancear las baterías y monitorizar la tensión y temperatura de cada una, aportando esta información al control central en todo momento.

Este bloque ha de estar eléctricamente aislado del resto del equipo con el fin de evitar posibles derivas de corriente no deseadas y capacidades parásitas.

Para satisfacer las especificaciones de usuario, el bloque de baterías deberá poseer las siguientes características:

-Características eléctricas:

- **Capacidad:** deberá tener una capacidad mínima de 75Ah. para cubrir las necesidades del equipo completo.
- **Descarga nominal:** con 75Ah su capacidad de descarga nominal ha de ser como mínimo de 0,5C.
- **Descarga pico:** con 75Ah de capacidad ha de poder soportar unos picos de al menos 2C.
- **Tensión nominal:** la tensión nominal de cada bloque, para poder cumplir las especificaciones de tensión en bornas del equipo ha de ser de al menos 24V, no bajando su tensión mínima de 16V.

-Características físicas:

- **Tamaño:** los bloques de baterías han de tener forma prismática para facilitar el montaje en en los módulos superiores y con unas dimensiones menores de 300x400x200 mm.
- **Peso:** el peso de este módulo no ha de exceder los 20Kg, con el fin de cumplir las especificaciones de usuario al montar el equipo.

Y deberá estar formado por los siguientes componentes:

- **Celdas individuales:** El bloque de baterías estará compuesto por un total de 8 celdas individuales con las especificaciones descritas en el punto detalle de batería simple, estas 8 celdas estarán conectadas en serie dentro de la carcasa de protección del bloque de baterías.
- **BMS local:** Cada bloque de baterías contendrá un BMS local capaz de balancear y gestionar las 8 celdas individuales de las que dispone el paquete. Este BMS local ha de cumplir con las siguientes especificaciones:
 - Capacidad de gestionar al menos 8 celdas individuales de forma local.
 - Balanceo pasivo de las celdas.
 - Periféricos de comunicación para bus CAN.

- Aislamiento eléctrico entre la parte de gestión de potencia y la parte de control.
- Capacidad de ofrecer información sobre el estado de tensión y temperatura de las celdas a través del bus de comunicaciones.

En la figura 3.11 se puede observar un circuito BMS local con características similares al descrito



Figura 3.11: Dispositivo BMS local

- Carcasa de protección: Cada bloque de baterías debe estar cubierto por una carcasa de protección capaz de evitar daños en las celdas y el BMS local por transporte o mecanizado durante el montaje.

Esta carcasa de protección ha de ser de aluminio, con forma prismática y ha de ofrecer modularidad a la hora de realizar el montaje de varios paquetes de baterías, proporcionando también un fácil acceso a las bornas de potencia de la conexión de celdas en serie y el bus de comunicación.

Esta carcasa ha de estar eléctricamente aislada del resto del equipo y de las partes activas de las celdas que contiene en su interior.

- Ventilador para refrigeración forzada: Para evacuar el posible exceso de calor producido por las celdas durante el uso del equipo, se instalará en cada paquete de baterías un ventilador para extraer el aire del paquete en caso de sobre calentamiento de las celdas.

Este ventilador ha de tener un consumo inferior a 2W, con el fin de evitar un autoconsumo elevado del equipo y se alimentará con a la misma tensión que el circuito de control del BMS, con el fin de reducir el cableado de alimentación dentro de los bloques de baterías.

Como apoyo térmico este ventilador contará con un disipador de aluminio atornillado al chasis de la batería, con el fin de evacuar el calor de la carcasa metálica de forma más eficiente. En la figura 3.12 se puede observar un conjunto ventilador/disipador como el descrito



Figura 3.12: Conjunto de ventilador más disipador

- Detalle de bandeja La bandeja como bloque final de almacenamiento estará formada por tres bloques de baterías, estos bloques estarán conectados en serie entre sí con el fin de alcanzar las especificaciones de tensión nominal del equipo.

Cada bandeja deberá poseer un bus de comunicaciones que permita conectar los controladores locales de cada bloque de baterías como nodos independientes del mismo, proporcionando una salida de este bus al exterior para poder comunicarse con el bloque de monitorización.

El bloque deberá proporcionar por la parte frontal del mismo terminales eléctricos de conexión, que faciliten el poder conectar varias bandejas en serie, estos terminales han de ser lo suficientemente robustos como para aguantar las corrientes de descarga que se demanden al equipo y han de poseer el suficiente aislamiento eléctrico para evitar derivas de corriente no deseadas.

Para satisfacer las especificaciones de usuario, la bandeja deberá poseer las siguientes características:

-Características eléctricas:

- Capacidad: deberá tener una capacidad mínima de 75Ah. para cubrir las necesidades del equipo completo.
- Descarga nominal: con 75Ah su capacidad de descarga nominal ha de ser como mínimo de 0,5C.
- Descarga pico: con 75Ah de capacidad ha de poder soportar unos picos de al menos 2C.
- Tensión nominal: la tensión nominal de cada bloque, para poder cumplir las especificaciones de tensión en bornas del equipo ha de ser de al menos 72V, no bajando su tensión mínima de 48V.

-Características físicas:

- Tamaño: la bandeja ha de tener forma prismática para facilitar el montaje final del equipo, con unas dimensiones menores de 1000x500x300 mm.
- Peso: el peso de este módulo no ha de exceder los 20Kg, con el fin de cumplir las especificaciones de usuario al montar el equipo.

Y deberá estar formado por los siguientes componentes:

- **Bloque de baterías:** El conjunto de bandeja de alimentación estará compuesto por un total de 3 bloques de baterías, con las especificaciones descritas en el punto detalle de bloque de baterías, estos 3 bloques de baterías estarán conectados en serie dentro de la carcasa de protección de la bandeja de alimentación.

- **Carcasa de protección:** Cada bandeja de alimentación debe estar cubierta por una carcasa de protección capaz de evitar daños en los bloques de baterías y las conexiones interiores por transporte o mecanizado durante el montaje.

Esta carcasa de protección ha de ser de aluminio, con forma prismática y ha de ofrecer modularidad a la hora de realizar el montaje de varias bandejas de alimentación, proporcionando también un fácil acceso a las bornas de potencia de la conexión de bloques de baterías en serie y el bus de comunicación.

Esta carcasa ha de estar eléctricamente aislada del resto del equipo y de las partes activas que contiene en su interior.

- **Conexiones de potencia internas:** Las conexiones de potencia internas se realizarán mediante pletinas de aluminio debidamente aisladas, con el fin de evitar el contactos directos con otras partes del interior de la bandeja de alimentación.

Estas pletinas han de tener suficiente grosor como para aguantar corrientes mantenidas de 200A a 800V de potencial y picos de corriente de hasta 400A, todo esto sin provocar el deterioro del aislante en ningún momento. En la figura 3.13 se muestra una conexión por pletina aislada.



Figura 3.13: Pletina de conexión aislada

- **Conexiones de potencia externas:** Las conexiones de potencia externas estarán formadas por dos pasamuros que atravesarán el frontal de la carcasa, proporcionando al montador del equipo un acceso fácil y rápido al bus de potencia a la hora de conectar bandejas en serie.

Este elemento estará formado por un núcleo de aluminio y ofrecerá un aislamiento con el chasis del equipo de al menos 1KV. En la figura 3.14 se muestra una borna pasamuros similar a la descrita.



Figura 3.14: Aislador pasamuros

- Conexiones de comunicación: El conexionado de comunicaciones se realizará a través de un cable de 5 hilos distribuidos entre CAN H, CAN L, GND, alimentación y malla. Este cable finalizará en el frontal de cada carcasa siendo accesible desde el exterior por un conector estándar DIN de 5 pines. En la figura 3.15 se muestra un conector DIN como el descrito.



Figura 3.15: Conector DIN 5 pines

3.4.2. Detalle del módulo de protecciones

La bandeja de protecciones será similar en aspecto y forma a las bandejas de almacenamiento, pero modificada para poder cumplir su funcionalidad. Esta bandeja constará de un bus de continua donde se conectará el equipo con la red exterior, este bus será gestionado por el control central del equipo, implementado en esta misma bandeja. Para garantizar las protecciones eléctricas y el control sobre el bus de continua, este constará de dos fusibles dimensionados para cortar el bus en caso de sobre intensidad y dos contactores con capacidad de corte y aislamiento suficiente para poder abrir el bus si fuera necesario. El control central será gestionado por una unidad de control que recogerá los datos recibidos de los controles locales en los bloques de baterías y del sistema de monitorización, la misión de este control central será la de gestionar el bus de continua, desconectando al equipo del mismo en caso de fallo o por petición del usuario, proporcionándoles información y enviando datos al bloque de monitorización. Para satisfacer las especificaciones de usuario, la bandeja de protecciones deberá poseer las siguientes características:

-Protecciones eléctricas:

- Fusibles: los fusibles han de tener una capacidad de corte de más de 1Kv. y han de cortar para corrientes mantenidas de más de 200A y corrientes pico de más de 300A.
- Contactores: los contactores han de tener una capacidad de aislamiento de al menos 1Kv. y han de ser capaces de soportar corrientes mantenidas de al menos 200A.

-Características físicas:

- Tamaño: la bandeja ha de tener forma prismática para facilitar el montaje final del equipo, con unas dimensiones menores de 1000x500x300 mm.
- Peso: el peso de este módulo no ha de exceder los 10Kg, con el fin de cumplir las especificaciones de usuario al montar el equipo.

-Control central:

- El control central deberá ser capaz de procesar toda la información del equipo en un periodo de tiempo suficiente para un correcto funcionamiento del mismo. Deberá poseer también un sensor para monitorizar la corriente y tensión del bus de continua en todo momento y un periférico que le permita conectarse al bus de comunicaciones.

3.4.3. Detalle de módulo de comunicación

El módulo de comunicación se encargará de proporcionar los medios necesarios a todos los dispositivos que necesiten transmitir o recibir datos. Estará formado por todos los dispositivos que necesiten comunicarse y por un bus principal que recorrerá todo el equipo y donde se conectarán todos los dispositivos o nodos que necesiten de este servicio de comunicación.

- Bus principal: El bus principal estará compuesto por un cable de 5 hilos, este cable recorrerá todo el frontal del equipo, pasando de bandeja a bandeja y ofreciendo a cada dispositivo que lo necesite un punto de conexión al mismo.

Este cable de 5 hilos tendrá una doble función, por un lado se encargará de establecer las líneas propias de comunicación CANH y CANL entre todos los nodos del módulo de comunicaciones, y por otro lado, con el fin de reducir cableado, proporcionará una línea de alimentación para los dispositivos externos a la bandeja de protecciones que la necesiten.

Esta línea de alimentación tendrá una tensión fija y un consumo limitado, debiendo los ser nodos los que se adapten a las limitaciones de la línea. Por lo tanto el bus principal de alimentación ha de cumplir las siguientes características eléctricas:

- Tipo de cable: cable apantallado de 5 hilos
- Tensión mínima a soportar: 12Vdc
- Corriente mínima a soportar: 6A
- Potencia mínima a soportar: 100W
- Aislamiento: Aislamiento eléctrico y magnético(apantallamiento)

En la figura 3.16 se puede observar un cable de 5 hilos como el descrito para el bus principal y un conexionado orientativo para el mismo.

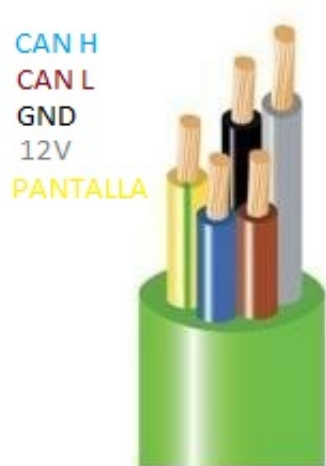


Figura 3.16: Conductor de 5 hilos para el bus

- Nodos de comunicación: Estos nodos son principalmente los BMS locales de equipo, el BMS central y el sistema SCADA, todos estos dispositivos han de comunicarse entre sí para un correcto funcionamiento del equipo, por lo tanto han de tener acceso físico al bus principal de comunicaciones.

Cada nodo ha de implementar algún periférico que le permita conectarse al bus CAN con un protocolo de comunicación CAN 2.0A y con unas exigencias de tasa de transmisión

específicas, ya que es requisito indispensable que todos los nodos del mismo bus principal de comunicaciones transmitan con la misma tasa de datos para poder efectuar una comunicación correcta.

Los nodos de comunicación que se encuentren fuera de la bandeja de protecciones deberán cumplir también una serie de características especiales a la hora de alimentar sus circuitos de comunicación y control, ya que deben conectarse a la línea de alimentación que proporciona el cable del bus principal, por lo tanto cada nodo externo a la bandeja de protecciones ha de cumplir las siguientes especificaciones eléctricas:

- Tensión de alimentación: 12Vdc
- Consumo máximo: 100mA

3.4.4. Detalle de módulo de control

El módulo de control se encargará de la gestión del equipo completo, tanto de forma local dentro de cada bloque de baterías como de forma general desde el control central. Este bloque está distribuido físicamente dentro de todo el equipo y se apoyará en el bus de comunicaciones para comunicar las diferentes partes y dispositivos que lo componen.

Los principales componentes de este módulo son los controladores locales, el control central y los circuitos de adaptación y actuación. Los controles o BMS locales se distribuirán por las diferentes bandejas de potencia, mientras que el control central y los diferentes circuitos de adaptación y control se implementarán en la bandeja de protecciones y control.

A la hora de definir los componentes del módulo se dividirá entre control local, control central y adaptación y actuación.

- Control local: El control local estará formado por los BMS locales, uno por bloque de baterías, cada uno de estos BMS locales han de conectarse al bus de comunicaciones para transmitir en todo momento el estado de las celdas individuales que gestionan, su tensión y su temperatura.

Esta información será recogida en todo momento por el control central, que la analizará y gestionará para tomar las decisiones necesarias sobre la actuación del equipo.

La parte de control de cada componente BMS local, ha de alimentarse en todo momento mediante la toma de potencia que se implementará junto con el bus de comunicaciones, permaneciendo la parte de control aislada eléctricamente de la parte de potencia y gestión de las baterías, con el fin de evitar posibles daños en el bus de comunicación y el control.

- Control central: El control central se implementará en un procesador digital de señales o DSP, este procesador de propósito general ha de tener la suficiente capacidad como para ejecutar todo el software de control de forma continua y en tiempo real, garantizando que las actuaciones y el análisis sobre el equipo será lo suficientemente rápido.

Para poder llevar a cabo el análisis del bus de continua el control central necesitará contar con puertos de lectura analógicos, estos puertos han de leer y analizar las señales obtenidas de los sensores de corriente y tensión que se instalará en el bus. Para poder realizar las acciones de actuación sobre contactores y leds del equipo el DSP ha de contar con los suficientes pines digitales de propósito general y finalmente será necesario implementar un periférico de comunicaciones CAN para comunicarse con el resto del equipo. Con todo esto el DSP ha de cumplir al menos las siguientes especificaciones:

- Frecuencia del procesador de al menos 100Mhz
- Memoria RAM de al menos 120Kb
- Periférico específico para comunicaciones CAN
- 15 pines digitales de propósito general
- 6 pines de entrada analógicos
- Conversor ADC de al menos 12bits

Una vez definido el hardware a utilizar hay que definir las funciones que ha de realizar el software del DSP, este software ha de gestionar toda la información recibida del equipo, analizarla y realizar las acciones de actuación necesarias en cada momento, para ello el software implementado ha de realizar las siguientes acciones:

- Implementar mediante el periférico CAN las comunicaciones con el resto de dispositivos de equipo
- Gestionar y adaptar la información recibida de los BMS locales
- Gestionar y adaptar la información recibida de los sensores del bus de continua
- Analizar toda la información recibida para conocer el estado en el que se encuentra el equipo
- En base al estado del equipo decidir cual es el modo de funcionamiento más adecuado en cada momento
- En base al modo de funcionamiento elegido gestionar y realizar las acciones de control sobre leds y contactores
- Dividir en tramas CAN la información más importante del sistema para enviarla al sistema SCADA

En la figura 3.17 se muestra una imagen de un chip DSP.



Figura 3.17: Chip DSP

- Adaptación y actuación: A la hora de leer parámetros o actuar sobre diferentes dispositivos las señales que llegan o salen del DSP han de ser adaptadas a los niveles de tensión propios de cada dispositivo, para ello se deberán realizar los circuitos y funciones de adaptación necesarios en cada etapa.

Para realizar funciones de adaptación y actuación se pueden distinguir tres partes esenciales que necesitará el DSP para su correcto funcionamiento, lectura y adaptación de la

corriente del bus de continua, lectura y adaptación de la tensión del bus de continua y adaptación de la salida a contactores.

- Lectura y adaptación de la corriente del bus de continua: A la hora de realizar una correcta lectura de la corriente que circula en cada momento por el bus de continua, se han de tomar medidas de la misma mediante un sensor de corriente. La lectura de este sensor de corriente puede darse tanto como una variación de corriente proporcional a la que circula por el bus (sensor de efecto hall), como una variación de tensión proporcional a dicha corriente (sensor shunt).

En cualquiera de los casos esta corriente, que además puede circular tanto en sentido negativo como positivo, ha de ser adaptada al rango de tensión de entrada del dispositivo DSP, intentado cubrir todo el rango de tensión de entrada para obtener la mayor precisión posible.

En el caso particular de este proyecto los sensores de corriente no medirán una tensión mayor a 200A, debiendo realizar una etapa de adaptación que a -200A proporcione al DSP una lectura de 0V y a 200A una lectura de 3 V, cubriendo así el rango de entrada de 0 a 3V de los puertos analógicos del DSP.

- Lectura y adaptación de la tensión del bus de continua: A la hora de realizar una correcta lectura de la tensión a la que está sometido el bus de continua hay que realizar una medida de tensión del mismo mediante un sensor de tensión. La lectura que proporcionan estos sensores es una corriente proporcional a la tensión medida, debiendo adaptar, igual que en el caso de la lectura y adaptación de corriente, esta medida a parámetros medibles por el DSP.

En nuestro caso particular se van a medir tensiones máximas de 800V, debiendo obtener mediante los circuitos de lectura y adaptación una tensión de 0V cuando el sensor lea 0V en bus y una tensión de 3V cuando el sensor lea 800V en bus, aprovechando así al máximo la precisión del puerto analógico del DSP

- Adaptación de la salida a contactores: Mediante los pines digitales de propósito general, el DSP deberá proporcionar las salidas que comanden la base de los contactores del bus de continua. Estos dispositivos suelen necesitar unas señales de activación de mayor tensión que las generadas por el DSP y necesitan una corriente relativamente elevada para mantenerse activas. Por lo tanto a la hora de comandar los contactores desde las salidas digitales del DSP hay que adaptar las señales generadas, para ello se utilizará un circuito de adaptación de potencia formado principalmente por relés, cuya base será comandada por la salida del DSP y que al activarse darán paso a un circuito auxiliar que activará y alimentará los contactores desde su base.

3.4.5. Detalle de módulo de interacción con el usuario

Este módulo será el encargado de mostrar al usuario el estado del equipo en todo momento y proporcionarle acciones de control sobre el mismo. El módulo de interacción con el usuario es el único módulo que poseerá partes externas al equipo principal, con el fin de facilitar al usuario las labores de monitorización y control.

Este módulo se dividirá en dos funcionalidades principales, monitorización y control y algunos componentes como el sistema SCADA compartirán ambas funcionalidades, permitiendo al usuario conocer y comandar el estado del equipo desde el mismo dispositivo. A la hora de definir los componentes que contendrá el módulo de monitorización se va a distinguir entre, componentes en el equipo principal y componentes externos al mismo, pudiendo cumplir cada uno, independientemente, las funciones de control, monitorización o ambas.

- Componentes dentro del equipo principal: Estos componentes se encontrarán en el equipo principal, ya sea dentro del armario de baterías o en alguna parte de la carcasa del mismo, los principales son:

- Seta de parada de emergencia: Este dispositivo de protección se situará en la carcasa del equipo principal por la parte externa, evitando así cualquier riesgo eléctrico que pueda producirse a la hora de manipularla.

Como dispositivo de protección al ser pulsada desconectará inmediatamente al equipo de la red, para ello actuará sobre la los relés que comandan los contactores del equipo, desconectándolos de la base de los contactores y dejándolos por lo tanto sin alimentación. Como especificaciones eléctricas generales esta seta de seguridad ha de cumplir:

- Tensión máxima: mínimo 20Vdc
- Corriente nominal: al menos 1A
- Capacidad de corte: al menos 3A
- Capacidad de aislamiento: mínimo de 1KV

En la figura 3.18 se muestra una seta de parada de emergencia con la parte de conexionado interna.



Figura 3.18: Seta de emergencia con interruptores

- Interruptor general: Este interruptor será el encargado de cortar la alimentación general de la parte de control del equipo, al accionarlo el usuario cortará la fuente de alimentación principal de la bandeja de protecciones y control, desconectando por tanto al equipo de la red y apagando todos los controles y buses de comunicación.

Este dispositivo de protección se situará en la carcasa del equipo principal por la parte externa, evitando así cualquier riesgo eléctrico que pueda producirse a la hora de manipularlo, las principales características eléctricas que ha de cumplir son:

- Tensión máxima: 230Vac
- Corriente nominal: mínimo de 5A
- Capacidad de corte: al menos 15A
- Capacidad de aislamiento: mínimo de 1KV

En la figura 3.19 se muestra un interruptor general con la parte de conexionado interna.



Figura 3.19: Interruptor modular

- Leds de estado: Los leds de estado se situarán en el frontal del del equipo principal, en un lugar visible, estos leds de estado estarán compuestos por cuatro leds diferentes e independientes que indicarán de forma visual y rápida el estado del equipo. Estarán comandados por la unidad central de de control, que en función del estado del equipo activará el correspondiente led. Con el fin de indicar de forma clara el estado del equipo se seguirá el siguiente código de colores:
 - Led rojo: Estado de error
 - Led verde: Estado de funcionamiento correcto
 - Led amarillo: Estado de inicialización
 - Led azul intermitente: Comunicaciones en curso
- Componentes externos al equipo: Estos componentes se encontrarán conectados al equipo principal a través de buses de comunicación pero no estarán en contacto físico con el equipo principal, los principales son:
 - Sistema SCADA: Este sistema SCADA se desarrollará mediante el software de programación gráfica LabVIEW, el software desarrollado ha de poder ejecutarse de forma continua, mostrando en cada momento y en tiempo real los parámetros del equipo, con el fin de proporcionar al usuario una realimentación realista del estado del equipo y la posibilidad de controlarlo en tiempo real. El sistema SCADA ha de garantizar las siguientes prestaciones:
 - Monitorización y gestión de los parámetros en tiempo real.
 - Ofrecer al usuario control sobre los contactores del equipo .
 - Monitorizar los parámetros del bus de continua.
 - Monitorizar los parámetros del equipo.
 - Ofrecer informes y códigos de error.
 - Implementar comunicaciones mediante bus CAN 2.0A.

En la figura 3.20 se puede observar una pantalla de software SCADA creada con LabVIEW.

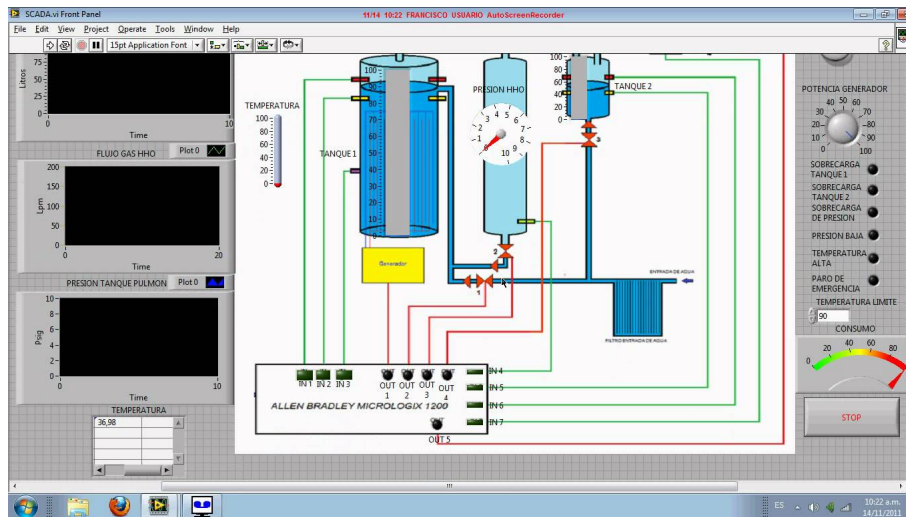


Figura 3.20: Frontal de SCADA con LV

- PC: A la hora de implementar el sistema SCADA del equipo se utilizará un PC en el que se desarrollará y ejecutará el software de control y monitorización, este PC ha de tener la suficiente capacidad como para ejecutar el software creado de manera continua, sin fallos y sin retardos, para ello deberá cumplir las siguientes especificaciones básicas:
 - Procesador: procesador de doble núcleo a 2Ghz
 - Memoria RAM: 2Gb
 - Disco duro: 200Gb
 - Sistema operativo: Windows Xp o posterior
 - Puertos de expansión: 2 puertos usb2.0

3.5. Conclusiones

Al finalizar este capítulo quedan completamente definidas las especificaciones que el proyecto ha de cumplir. Basado en la metodología de desarrollo en V, se han definido las especificaciones del proyecto, comenzando desde las especificaciones más globales definidas en las especificaciones de usuario, hasta entrar más en detalle definiendo que componentes y de que forma implementarán el equipo.

Gracias a la metodología de desarrollo el proyecto ha quedado definido de una forma clara, organizada y jerárquica. Dentro de la definición de especificaciones de usuario se han definido claramente las características finales que ha de tener el equipo, posteriormente en las especificaciones de componentes se han definido las partes que lo formarán y para finalizar, se han definido los componentes que formarán cada parte del equipo en la especificación en detalle.

Esta definición tan rigurosa y esquematizada será un punto de apoyo claro a la hora de desarrollar el equipo, ya que proporcionará a los desarrolladores una guía concreta sobre el objetivo a lograr, facilitando dentro del equipo de proyecto las labores de planificación y coordinación a la hora de definir el alcance del proyecto y gestionar el equipo de desarrollo.

De igual forma facilitará al equipo de desarrollo las labores de testeo y validación que han de realizarse de forma continua, permitiendo verificar con facilidad si los objetivos alcanzados coinciden con los definidos en el proyecto y corrigiendo a tiempo el desarrollo en caso de que no cumpla con lo especificado.

Capítulo 4

Desarrollo

4.1. Introducción

Una vez especificados todos los componentes, sus características y su función dentro del equipo es el momento de continuar con el siguiente paso dentro del diagrama de metodología en V, el desarrollo y la validación del equipo.

En un primer momento se han de desarrollar e implementar cada componente y parte del equipo definida dentro de la columna izquierda del desarrollo en V, esta implementación y desarrollo se realizará de forma inversa a como se definió, es decir, empezando por desarrollar los componentes de la ingeniería de detalle y finalizando con la implementación y validación del equipo completo.

En todo momento y tras desarrollar cada componente y cada parte del equipo se testeará que este cumple con las especificaciones pedidas, asegurando de esta forma que se está cumpliendo con la ejecución del proyecto.

Este desarrollo y validación se dividirá en tres partes principales: desarrollo de detalle, donde se mostrará el desarrollo de los componentes más básicos del equipo, desarrollo de componentes, donde se validarán las diferentes partes que componen el equipo y finalmente desarrollo de usuario, donde se mostrará el desarrollo y la validación del equipo completamente montado.

4.2. Desarrollo de detalle

Dentro del desarrollo en detalle se especificarán las soluciones que se han llevado a cabo para cumplir las especificaciones pedidas. Se expondrán los componentes finales que se han utilizado para formar las diferentes partes del equipo, así como sus características concretas, funcionamiento e implementación final.

A la hora de definir los componentes desarrollados en la ingeniería de detalle se dividirán inicialmente dentro de la parte final del equipo que ocupará cada uno. Así se pueden dividir los diferentes componentes dentro de:

- Pack de baterías

Dentro de la ingeniería de detalle, para cumplir con las especificaciones requeridas para el pack de baterías se han desarrollado las siguientes partes:

1. Celda individual: Para cumplir con las especificaciones requeridas de capacidad, peso y tensión en bornas del pack de baterías se ha seleccionado el modelo de celda individual Cress LiFePO 75.

Esta celda tiene las siguientes características:

- Química: LiFePO
- Capacidad nominal: 75Ah
- Tensión nominal: 3.2V
- Temperatura de operación: entre 0 y 40°C
- Ciclos de descarga completa: aproximadamente 3000 ciclos
- Dimensiones: 19x183x263mm
- Peso: 1660g

Las cuales cumplen con las exigencias de capacidad, peso, forma y tensión especificadas para las celdas que componen el pack de baterías. En la figura 4.1 se muestra una de las celdas Cress seleccionadas durante el desarrollo.

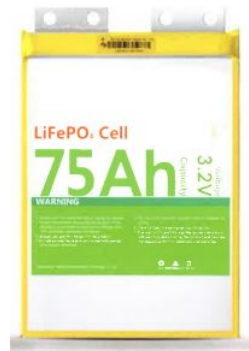


Figura 4.1: Celda Cress 75Ah

2. BMS local:

El BMS local tal y como se especificó en la ingeniería de detalle ha de cumplir dentro del pack de baterías las funciones de balanceo y testeo de las celdas individuales, así como las funciones necesarias de comunicación para informar a la unidad central de posibles fallos

Para cubrir estas necesidades en el apartado de desarrollo en detalle se ha escogido un dispositivo BMS Zeva12, que actuará como BMS local de cada pack de baterías, las principales características de este dispositivo son:

- Celdas gestionadas: entre 4 y 12 celdas
- Tensión máxima admitida: 60Vdc
- Umbral de balanceo configurable: entre 0 y 5000mV
- Tipo de balanceo: pasivo
- Resistencias de balanceo: 30ohm
- Sondas de temperatura: 2 sondas NTC de 100K
- Protocolo de comunicación: Can 2.0A estándar, 125Kbps
- Tensión de alimentación del bus de comunicación: 12V
- Peso: 35g

Con estas características quedan perfectamente cubiertas las especificaciones exigidas en la ingeniería de detalle para este dispositivo, dotando también al pack de baterías de un sistema de comunicación mediante bus CAN. En la figura 4.2 se puede observar el dispositivo Zeva12.

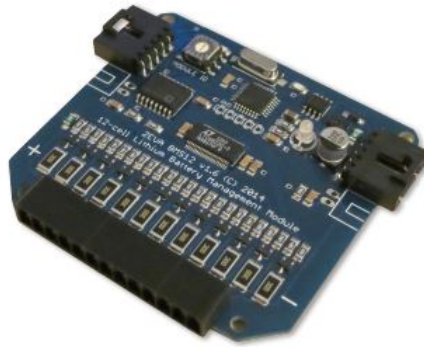


Figura 4.2: BMS Zeva12

3. Desarrollo final del pack

Una vez seleccionados los componentes principales del pack de baterías se procede a la implementación del mismo. Con el fin de cumplir los requisitos exigidos para el pack, se ensamblarán un total de 8 celdas Cress LiFePO 75Ah en serie, apilándolas de forma ascendente una encima de otra y dotando finalmente al pack de un disipador de calor y un ventilador para una evacuación forzada de aire.

Cada una de estas celdas se ha conectado a las entradas de testeo y balanceo del dispositivo BMS Zeva12, cumpliendo así con las especificaciones exigidas de balanceo y testeo de forma local dentro de cada pack.

Para cumplir las condiciones de modularidad exigidas cada pack de baterías tiene accesibles dos bornas (positiva y negativa), que facilitan la conexión de varios módulos en serie para su posterior ensamblaje dentro de las bandejas de baterías. Así mismo se ha dejado accesible una terminación del bus de comunicaciones CAN del BMS Zeva12 con el fin de facilitar la conexión de cada módulo con el bus de comunicaciones del equipo.

Se ha obtenido finalmente un pack de baterías con las siguientes características:

- Tensión en bornas: 26V
- Capacidad nominal: 75Ah
- Ciclos de descarga completa: 3000
- Comunicaciones: CAN 2.0A
- Balanceo de celdas: balanceo pasivo
- Peso: 18Kg
- Dimensiones: 200x200x400mm

Cumpliendo así con las especificaciones exigidas para esta parte del equipo. En la figura 4.3 se puede observar el conexionado de un BMS Zeva12 con un conjunto de 12 baterías en serie y en la figura 4.4 se muestra una imagen del resultado final de la implementación del pack de baterías.

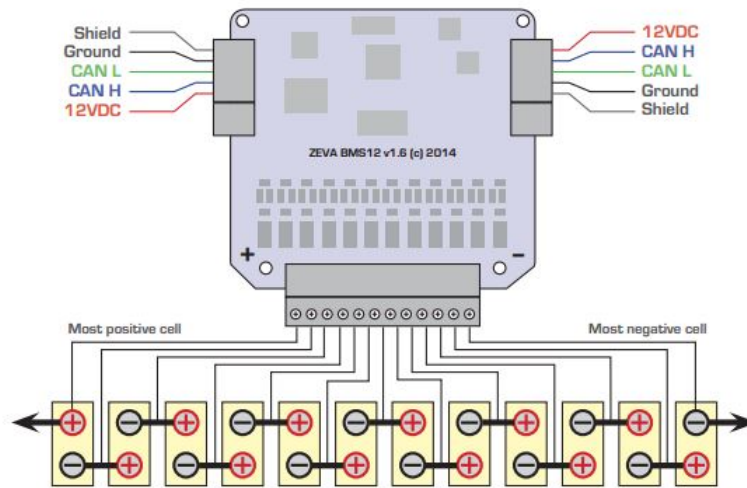


Figura 4.3: Conexión del BMS con 12 celdas en serie

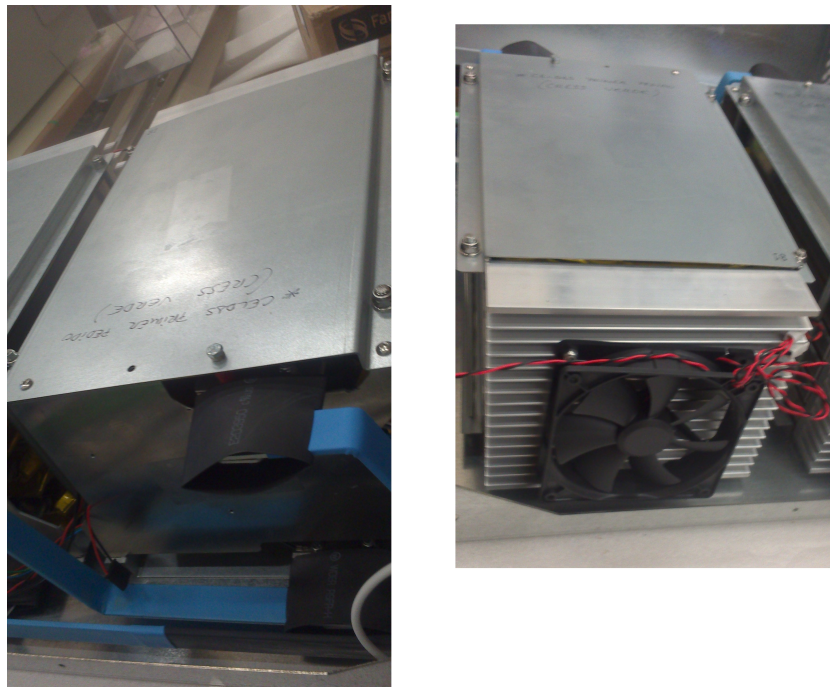


Figura 4.4: Pack de baterías

- Bandeja de protecciones

Para cumplir con las especificaciones de protección del equipo requeridas se ha desarrollado una bandeja especial dedicada a funciones de protección y control sobre el equipo. Los principales componentes de protección implementados dentro de esta bandeja son:

1. Protección contra sobre intensidad

A la hora de seleccionar las protecciones contra sobre intensidad del equipo se han escogido dos fusibles marca SIBA modelo NH1XL gPV DC 1100V, los cuales protegerán el bus de continua de sobre intensidades mantenidas y picos de corriente excesivamente elevados.

Las principales características de estos fusibles son:

- Intensidad nominal máxima mantenida: 200A
- Intensidad máxima pico: 1300A en 0.01 seg.
- Tensión: 1100Vdc
- Poder de corte: 30KV dc
- Dimensión estandarizada: NH1XL
- Tipo: gPV

Cumpliendo así con las condiciones especificadas para protección contra sobre intensidades en el bus de continua. En la figura 4.5 se puede observar un fusible SIBA de 250A y en la figura 4.6 las curvas de la gama de fusibles NH1XL gPV a partir de las cuales se ha seleccionado el fusible concreto a utilizar.



Figura 4.5: Fusible SIBA 250A

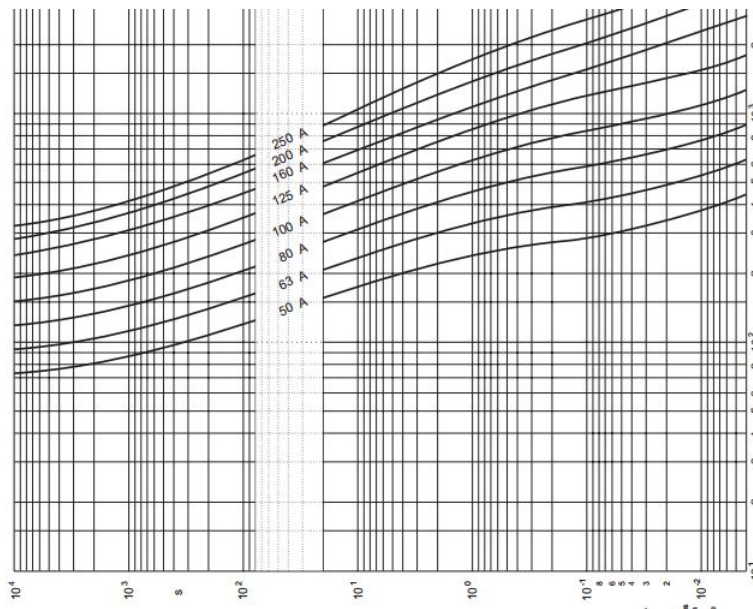


Figura 4.6: Curvas de los fusibles de la serie NH1XL 1100V

2. Contactores de control

Para cumplir con las exigencias de control sobre el bus de continua en el desarrollo del equipo, se han implementado dentro de la bandeja de protecciones dos contactores

de la marca TYCO, modelo Kilovac EV200. Estos contactores tienen la función de, comandados por el control central, conectar o desconectar al equipo del bus de continua.

Para ello se ha instalado un contactor en la línea positiva del bus y otro en la línea negativa, activados cada uno por un relé que a su vez es comandado por la unidad central de control. Las características principales de estos contactores son:

- Corriente nominal máxima: 200A
- Corriente pico máxima: 650A
- Tensión de operación: entre 12 y 900V
- Resistencia de aislamiento: 100Mohms
- Tipo de contactor: Normalmente abierto
- Tensión de control: 12V
- Consumo: 1,7W

Cumpliendo así con las especificaciones de detalle exigidas sobre el control físico del bus de continua. En la figura 4.7 se puede observar el contactor descrito.



Figura 4.7: Contactor Tyco Kilovac

3. Implementación final de la parte de protecciones:

Para el desarrollo final de la bandeja de protecciones se han unido los componentes anteriormente descritos como se muestra en la figura 4.8:

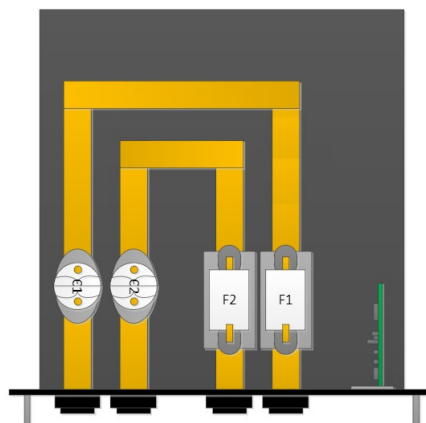


Figura 4.8: Distribución de las protecciones

Los fusibles de la bandeja protegen al bus contra sobre intensidades, mientras que los contactores apoyados por la placa de adaptación auxiliar dan al control central la funcionalidad de poder conectar y desconectar el equipo del bus de continua. La placa de adaptación auxiliar mostrada en la figura 4.9 está compuesta por dos relés que comandarán la base de los contactores y un buffer que a su vez permitirá que el control central comande los relés, el esquema electrónico de la placa se muestra en la figura 4.10.

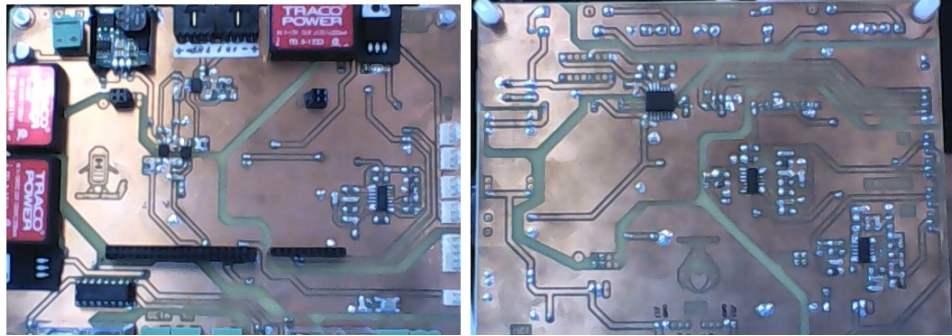


Figura 4.9: Placa de adaptación de señal

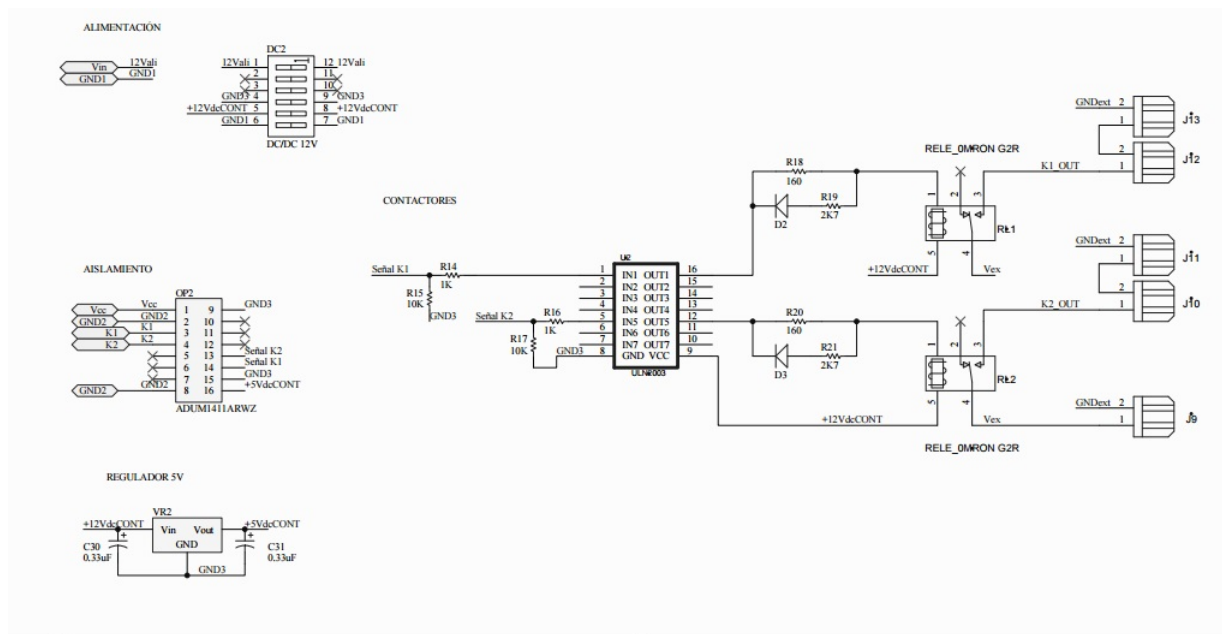


Figura 4.10: Placa de adaptación de control

Obteniendo así finalmente una bandeja de protecciones totalmente funcional y que cumple en todo momento con las especificaciones exigidas. En la figura 4.11 se puede observar una imagen de la implementación final de los elementos de protección en la bandeja de protecciones.

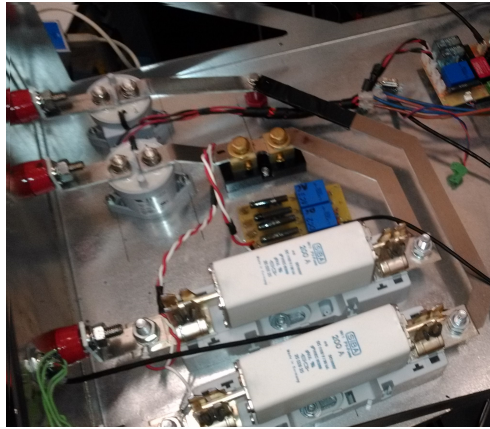


Figura 4.11: Protecciones del equipo de baterías

- Módulo de control y mediciones Para cumplir con las especificaciones de control y procesamiento de información del equipo se ha desarrollado un control central que procesará la información obtenida de los BMS locales, los sensores que se implementarán sobre el bus de continua y las órdenes recibidas desde el SCADA, generando las acciones y señales de control adecuadas en cada momento.

Este módulo de control se ha implementado en la bandeja de protecciones y sus principales componentes se muestran a continuación:

1. Unidad principal del módulo

La unidad principal del módulo está formada por un procesador digital de señales o DSP, este dispositivo es el encargado de procesar toda la información del equipo y generar las señales de control. Durante el desarrollo del módulo de control se ha escogido para llevar a cabo la función de unidad principal un DSP de la compañía Texas Instruments modelo TMS320F28335. Las principales características de este dispositivo son:

- Frecuencia de operación de 150Mhz
- CPU de 32bits
- Periféricos SCI, SPI, CAN, I2C, McBSP, XINTF.
- 88 pines digitales de propósito general
- 16 canales analógicos con ADC de 12 bits
- Programación en C
- 18 salidas PWM
- Analizador/emulador por JTAG

Dentro de los periféricos de los que dispone este dispositivo se van a utilizar: dos puertos de entrada analógicos, para medir tensión y corriente del bus de continua, un puerto de comunicaciones CAN para conectarse al bus de comunicaciones y 6 puertos de entrada/salida digitales, para proporcionar las órdenes de salida necesarias a los contactores y leds de estado. En la figura 4.12 se puede observar el DSP utilizado dentro de su placa de adaptación.



Figura 4.12: Starter Kit y DSP TMS320F28335

A su vez se ha desarrollado un código propio para gestionar la información obtenida y en base a ella proporcionar al sistema las órdenes necesarias. Este código se basa en un continuo testeo de los parámetros leídos del sistema, comprobando en todo momento que estos estén dentro de rango para garantizar un correcto funcionamiento del equipo y ejecutando un estado de error que sacará al equipo de la red en caso de que no se cumplan las condiciones necesarias de funcionamiento.

2. Sistema de mediciones y adquisición de datos

Para poder monitorizar el estado del bus de continua en todo momento y así poder cumplir correctamente con las especificaciones de control, se han desarrollado dos sistemas de adquisición: uno encargado de leer y adaptar la tensión del bus y otro encargado de leer y adaptar la corriente que está circulando por él.

- Lectura de la tensión del bus: para obtener la tensión en bornas del bus de continua se ha utilizado un sensor marca LEM modelo LV 25-p cuyas principales características son:
 - Rango de tensión de lectura: entre 10 y 1500V
 - Intensidad de salida: 10mA
 - Tensión de alimentación: +/-15V
 - Consumo: 20mA
 - Tensión de aislamiento: 4.1KV

En la figura 4.13 se muestra el dispositivo de lectura de tensión descrito.

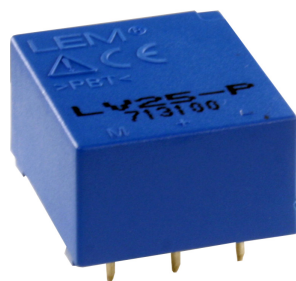


Figura 4.13: Sensor LEM Lv25-P

Para adaptar la tensión de alimentación y la salida de la lectura del dispositivo se ha utilizado el circuito auxiliar mostrado en la figura 4.14. Este circuito proporciona mediante un DC/DC la tensión de alimentación que necesita el dispositivo LEM a partir de la alimentación general de 12Vdc que proporciona una fuente de alimentación externa al circuito de control. Posteriormente y mediante

la ayuda de un amplificador operacional se adapta la corriente de salida del sensor, transformándola de tal forma que a la entrada del DSP llegue una tensión de 0V para la lectura de 0V en bornas y 3V para la lectura de 700V en bornas (fondo de escala).

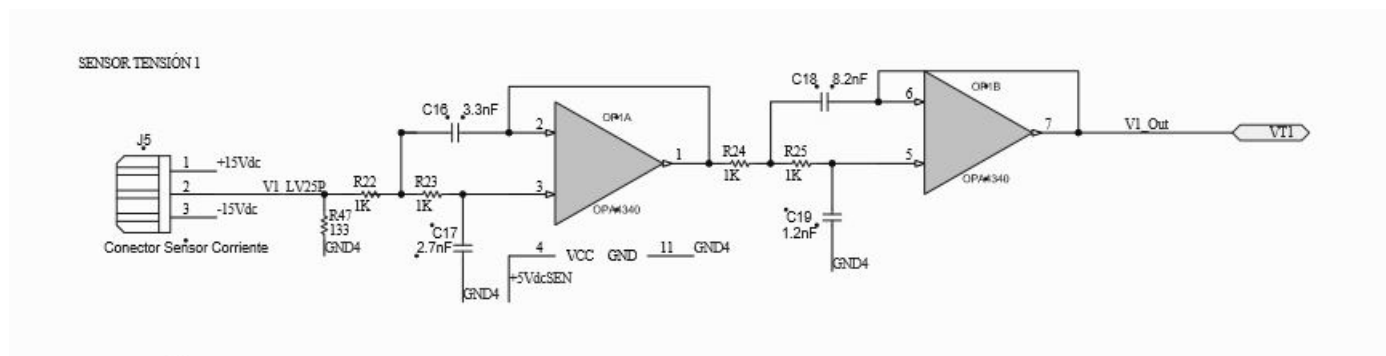


Figura 4.14: Circuito auxiliar de adaptación de tensión

- Lectura de la corriente del bus: para obtener la corriente que circula por el bus de continua se ha utilizado un sensor marca LEM modelo LA200-P cuyas principales características son:
 - Rango de corriente de lectura: $\pm 300\text{A}$
 - Intensidad de salida: 100mA
 - Tensión de alimentación: $\pm 15\text{V}$
 - Consumo: 35mA
 - Tensión de aislamiento: 3KV

En la figura 4.15 se muestra el dispositivo de lectura de corriente descrito.

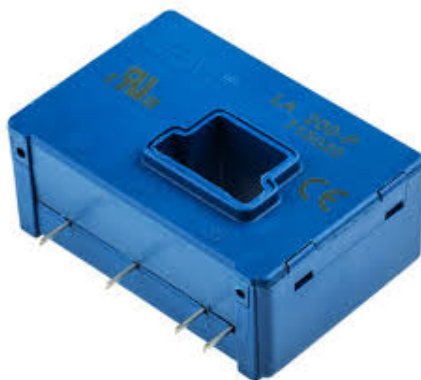


Figura 4.15: Sensor LA200-P

Para adaptar la tensión de alimentación y la salida de la lectura del dispositivo se ha utilizado el circuito auxiliar mostrado en la figura 4.16. Este circuito proporciona mediante un DC/DC la tensión de alimentación que necesita el dispositivo LEM a partir de la alimentación general de 12Vdc que proporciona una fuente de alimentación externa al circuito de control. Posteriormente y mediante la ayuda de un amplificador operacional se adapta la corriente de salida del sensor, transformándola de tal forma que a la entrada del DSP llegue una tensión de 0V para la lectura de -300A en el bus y 3V para la lectura de 300A en el bus.

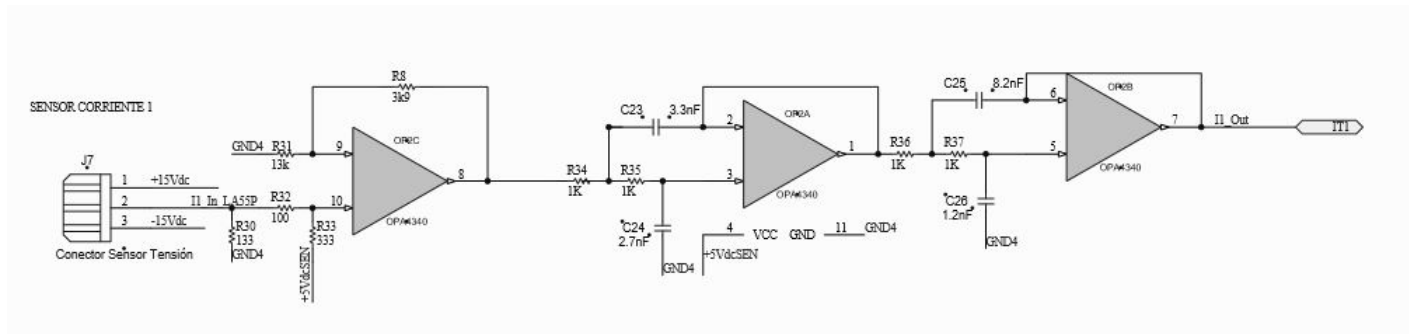


Figura 4.16: Circuito auxiliar de adaptación de corriente

3. Implementación final del módulo de control

Una vez definidos los componentes principales del sistema de control y mediciones este quedará implementado como se muestra en la figura 4.17.

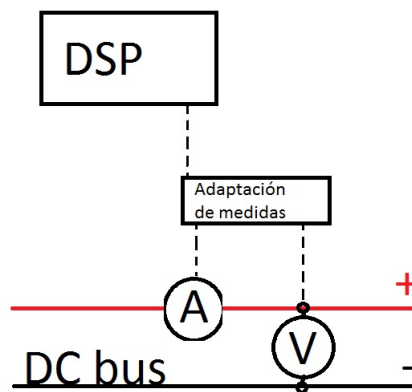


Figura 4.17: Diagrama de distribución de mediciones y control

Con esta implementación final se consigue desarrollar un control central capaz de conocer en todo momento el estado del equipo mediante la información que le llega por el bus de comunicaciones, de conocer el estado del bus de continua a través de los sensores de tensión y corriente instalados y de calcular y ejercer sobre el equipo las acciones de control necesarias en cada momento. En la figura 4.18 se puede observar la implementación del sistema de control desarrollado.

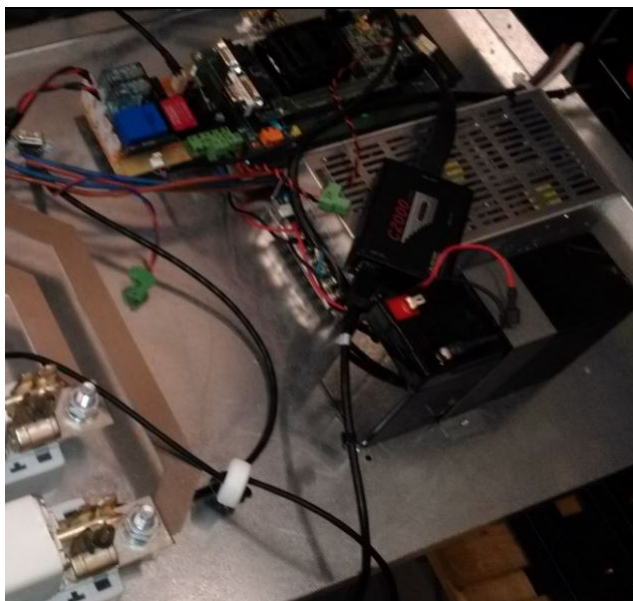


Figura 4.18: Parte de control de la bandeja de protecciones

■ Protocolo del bus de comunicaciones

El protocolo de comunicaciones que se ha implementado para este equipo es el protocolo CAN 2.0A, este protocolo de comunicaciones identifica cada mensaje con un identificador propio de 9 bits, pudiendo albergar hasta un total de 2.048 mensajes diferentes.

Se basa en el modelo productor/consumidor, paradigma de comunicación de datos a través del cual puede existir un productor y varios consumidores en la misma red. Su protocolo de arbitraje del medio es el CSMA/CD mediante el cual cada nodo establece una escucha continua del medio y detecta si se producen colisiones. Con todo esto, este protocolo ofrece las siguientes ventajas :

- Prioridad de mensajes.
- Detección y señalización de errores.
- Retransmisión automática de tramas erróneas
- Sistema multimaestro robusto.
- Flexibilidad de configuración.

Cumpliendo así con las especificaciones exigidas para el protocolo de comunicaciones.

■ Bus de comunicaciones

Con el fin de cumplir con las especificaciones de comunicación pedidas se ha desarrollado un sistema de comunicaciones dentro del equipo basado en un bus de comunicaciones CAN, a través del cual podrán comunicarse los BMS locales con el control central y el sistema SCADA que se encontrará fuera del armario principal del equipo.

Se ha desarrollado tanto el bus físico como los programas propios necesarios dentro del control central y el sistema SCADA, con el fin de gestionar todas las comunicaciones necesarias entre los diferentes nodos del bus.

1. Componentes del bus Los principales componentes del bus para realizar las comunicaciones necesarias entre las distintas partes del equipo son los nodos de comunicación y el bus central.

- **Bus central de comunicaciones:** el bus central de comunicaciones es la canalización por donde pasarán todos los flujos de comunicación de los diferentes dispositivos del sistema que necesiten mandar o recibir información. Este bus físicamente se basa en una línea cableada compuesta principalmente por tres líneas independientes entre sí, denominadas: CAN_ H, CAN_ L y GND. Los dispositivos conectados a estas líneas variarán el nivel de tensión de las mismas con el fin de generar a nivel físico el protocolo de comunicación CAN. La longitud de este bus viene limitada por la tasa de transferencia de datos que se quiera conseguir según se muestra en la figura 4.19. En el caso de este desarrollo la tasa de transferencia está fijada por los BMS locales en 125Kbps permitiendo una longitud máxima de bus de 450 metros, más que suficiente para el bus del equipo que no excederá en el peor de los casos los diez metros de longitud.

Longitud del bus (m)	Tasa de transferencia (kbit/s)
40	1000
100	500
200	250
500	100
1000	50

Figura 4.19: Distancia/tasa de transferencias del bus CAN

Otra de los requisitos físicos que ha de implementarse en este bus es la resistencia de terminación de línea, se trata de una resistencia de 120ohm que ha de ser colocada al principio y al final del bus de datos entre CAN_ H y CAN_ L, como se muestra en la figura 4.20, generando una impedancia entre la línea H y la línea L de aproximadamente 60ohm, con el fin de evitar reflexiones en la comunicación.

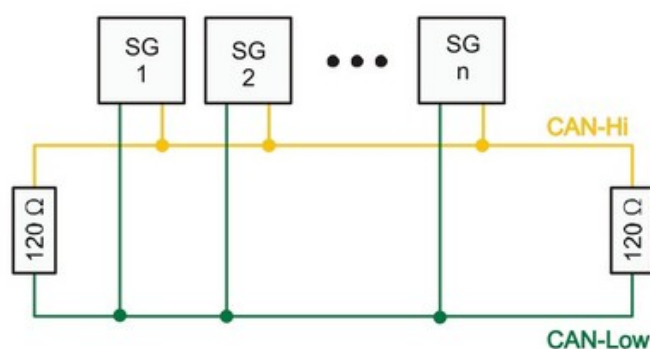


Figura 4.20: Diagrama de bus CAN

- **Nodos del bus:** los nodos del bus son los dispositivos que se conectarán al bus de comunicaciones para enviar o recibir información. En nuestro caso particular se tienen tres tipos de nodos diferentes: el BMS local, el cual trae una programación pre configurada con unos requisitos específicos a la hora de comunicar por CAN,

el control central(DSP)cuya forma de comunicación se configurará mediante el desarrollo de un código de control propio y finalmente el sistema SCADA, cuya principal función será la de monitorizar la información proporcionada por el control central.

Las particularidades que presenta cada nodo a la hora de comunicarse por el bus CAN se desarrollarán con mayor detalle en el apartado de detalle de los nodos.

Por lo tanto, una vez desarrollado el bus central y los nodos de comunicación el sistema final de comunicaciones presentará una estructura como la mostrada en la figura 4.21, donde cada nodo se conectará al bus de forma independiente y leerá en todo momento los mensajes que los otros nodos pongan en el bus, realizando transmisiones cuando sea necesario.

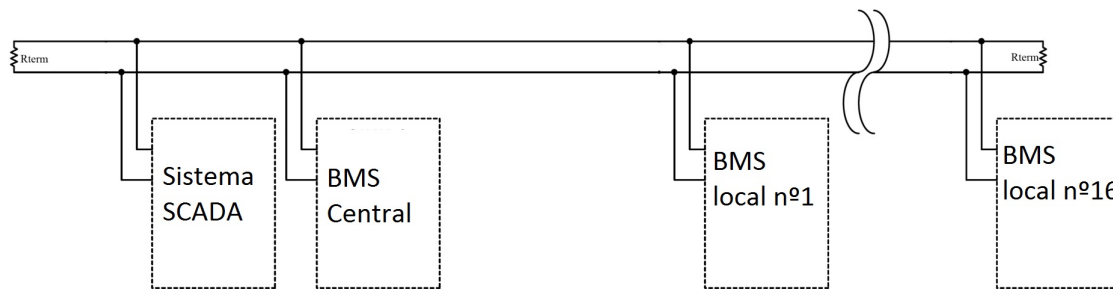


Figura 4.21: Red CAN del equipo de baterías

2. Detalle de los nodos

A la hora de utilizar cada nodo es importante tener en cuenta sus particularidades, ya que aunque trabajen sobre el mismo protocolo de comunicación la forma de transmitir la información y la información transmitida puede ser distinta en cada nodo, en el caso particular de este desarrollo los nodos actúan de la siguiente forma:

- BMS local: en total el bus contará con 16 BMS locales, estos dispositivos implementan un modo de comunicación tipo pregunta/respuesta, permanecen sin comunicar ninguna trama al bus hasta que el control central les pregunta por alguna trama concreta y estos responden poniendo en el bus de datos dicha trama con un identificador particular.

En concreto se pedirá a los BMS locales de forma continua (cada 500ms) tres tramas, dos de ellas en las que se devuelve la tensión individual de las celdas a las que están conectados y la temperatura de las sondas y otra en la que se devuelve el estado del dispositivo.

Las tramas están ordenadas como muestra el fabricante en el datasheet del producto, en la figura 4.22 se muestran las tramas pedidas BMS local y su ordenación.

Trama de estado

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 1	C8 LV	C7 LV	C6 LV	C5 LV	C4 LV	C3 LV	C2 LV	C1 LV
Byte 2	C4 HV	C3 HV	C2 HV	C1 HV	C12 LV	C11 LV	C10 LV	C9 LV
Byte 3	C12 HV	C11 HV	C10 HV	C9 HV	C8 HV	C7 HV	C6 HV	C5 HV
Byte 4	C8 SH	C7 SH	C6 SH	C5 SH	C4 SH	C3 SH	C2 SH	C1 SH
Byte 5	T2 OV	T2 UN	T1 OV	T1 UN	C12 SH	C11 SH	C10 SH	C9 SH

Trama de tensión 1

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 1	Voltage 1, bits 0-7							
Byte 2	Voltage 2, bits 0-7							
Byte 3	Voltage 3, bits 0-7							
Byte 4	Voltage 4, bits 0-7							
Byte 5	Voltage 5, bits 0-7							
Byte 6	Voltage 6, bits 0-7							
Byte 7	–	–	V6 bit 8	V5 bit 8	V4 bit 8	V3 bit 8	V2 bit 8	V1 bit 8
Byte 8	Temperature 1							

Trama de tensión 2

	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 1	Voltage 7, bits 0-7							
Byte 2	Voltage 8, bits 0-7							
Byte 3	Voltage 9, bits 0-7							
Byte 4	Voltage 10, bits 0-7							
Byte 5	Voltage 11, bits 0-7							
Byte 6	Voltage 12, bits 0-7							
Byte 7	–	–	V12 bit 8	V11 bit 8	V10 bit 8	V9 bit 8	V8 bit 8	V7 bit 8
Byte 8	Temperature 2							

Figura 4.22: Tramas CAN del BMS local

- BMS central: el BMS central o control central estará conectado al bus de comunicaciones como un nodo más, su función dentro de este bus será la de pedir y recoger las tramas de información proporcionadas por los BMS locales y el sistema SCADA y una vez procesada la información enviar al sistema SCADA los parámetros necesarios para la monitorización del sistema. Pedirá a cada BMS local cada 500ms las tramas correspondientes a la información sobre la tensión de sus celdas, la temperatura de sus sondas y el estado general del dispositivo, almacenando las tramas de respuesta en los mailbox internos del dispositivo y procesando posteriormente los datos. Una vez procesados estos datos el BMS central generará una serie de tramas que enviará al sistema SCADA para la monitorización de los parámetros del sistema. Estas tramas contienen parámetros como la tensión individual de cada celda del sistema, la intensidad medida en el bus de continua, la temperatura de cada sensor, etc. Las tramas enviadas por el BMS central y su ordenación se pueden observar en la figura 4.23.

Tramas transmitidas por el control central								
ID(decimal)	byte 1	byte 2	byte 3	byte 4	byte 5	byte 6	byte 7	byte 8
0-32	V1	V2	V3	xx	xx	V4	V5	V6
38	Voc Total (H)	Voc Total (L)	SoC	I total(H)	I total(L)	Vmedida (H)	Vmedida (L)	Error
40-45	T1	T2	T3	xx	xx	T4	T5	T6

Figura 4.23: Tramas enviadas por el BMS central

A parte de la información recibida por los BMS locales, el BMS central también recibe órdenes de control del usuario a través del SCADA, recibiendo cada 100ms una trama que le indica si debe o no sacar al equipo del bus de continua, esta trama de control se muestra en la figura 4.24.

Tramas transmitidas por el SCADA								
ID(decimal)	byte 1	byte 2	byte 3	byte 4	byte 5	byte 6	byte 7	byte 8
35	-	-	-	-	-	xx	xx	Contactores

Figura 4.24: Tramas enviadas por el sistema SCADA

- SCADA: el sistema SCADA actuará como un nodo más del bus de datos, dedicándose principalmente a leer y procesar los mensajes recibidos del BMS central. Cada 100ms de forma periódica comunicará al bus las órdenes que el usuario proporcione al equipo mediante el frontal del SCADA. La trama de control enviada se muestra en la figura 4.24.

Para el desarrollo del bus de comunicaciones y de los programas software del control central y sistema SCADA se han tenido en cuenta estas particularidades, con el fin de obtener el comportamiento deseado del sistema de comunicaciones.

3. Desarrollo del sistema SCADA

Para cumplir con las especificaciones del sistema en cuanto a la interfaz con el usuario se ha desarrollado un sistema SCADA capaz de monitorizar el estado del equipo y ofrecer a usuario la posibilidad de actuar sobre el mismo.

El sistema SCADA se ha desarrollado e implementado en un PC externo al equipo de baterías, para el desarrollo del sistema SCADA se ha utilizado la herramienta software LabVIEW, un software de programación gráfica que utiliza un modelo de flujo de datos en lugar de líneas secuenciales de código de texto, lo que le permite escribir código funcional utilizando un diseño visual. Este software permite crear sistemas SCADA configurando dos ventanas principales del programa: el frontal del sistema, ventana que verá el usuario final una vez se ejecute la aplicación y el diagrama de conexiones, donde se implementará y ejecutará todo el código de programación del SCADA (esta parte permanece invisible al usuario en todo momento).

Para el desarrollo del sistema se ha creado un frontal donde se muestran las tensiones individuales de cada celda y la temperatura de cada pack de baterías, ordenados por bandejas. También se muestran de forma gráfica otros parámetros del equipo como tensión de bus, corriente de bus, código de error en caso de producirse y un fallo y estado de carga.

Internamente el SCADA obtiene toda esta información de las tramas que por bus CAN le envía el BMS central del equipo, a parte de las acciones de monitorización el frontal del equipo también ofrece opciones de control sobre el equipo. Estas acciones de control se basan en la apertura o cierre de contactores para sacar al equipo de la red, estas órdenes serán transmitidas cada 100ms por bus CAN al control central del equipo, que actuará sobre los contactores según la órdenes recibidas.

En la figura 4.25 se puede observar una imagen del equipo SCADA desarrollado.

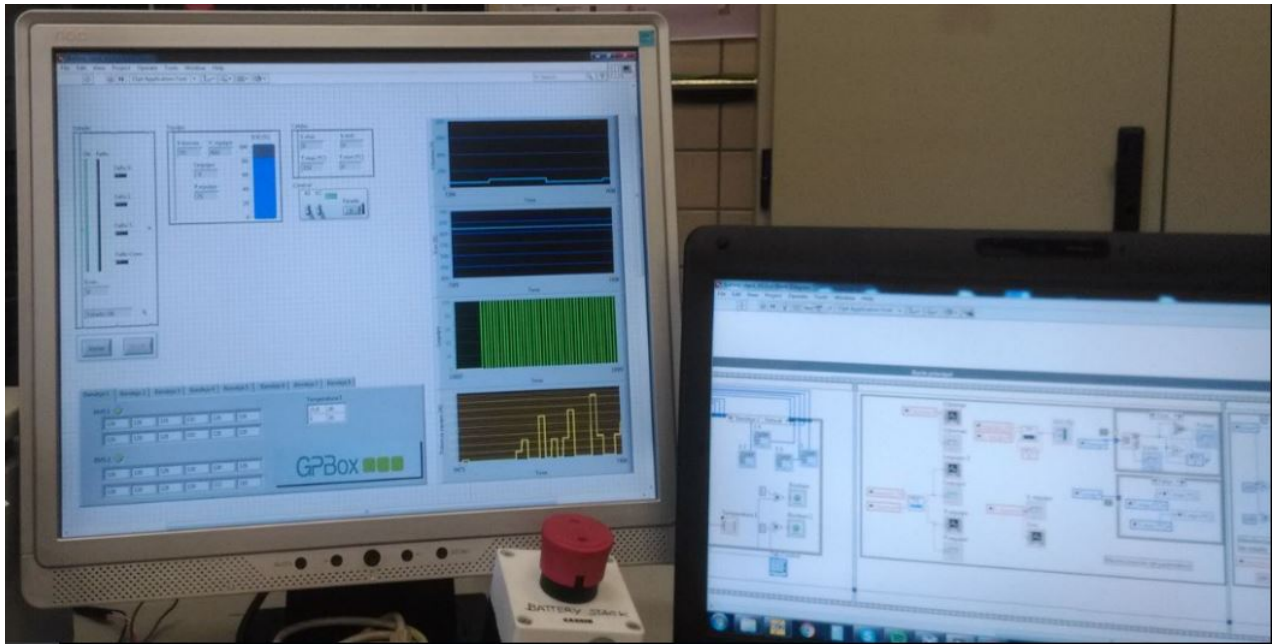


Figura 4.25: Sistema SCADA implementado

Para poder comunicar el PC con el bus de comunicaciones se ha utilizado una pasarela de la marca VsCom modelo USBtoCAN, esta pasarela es la encargada de transformar los mensajes que circula por el bus CAN de tal forma que el PC pueda leerlos e interpretarlos. Transforma los mensajes CAN a protocolo serie que posteriormente son leídos por el PC e interpretados por el SCADA mediante una API propia del dispositivo y compatible con el software de programación LabVIEW. En la figura 4.26 se muestra la pasarela utilizada.



Figura 4.26: Pasarela USB-CAN

4.3. Desarrollo de componentes

Dentro de este apartado se especificarán los desarrollos realizados de las diferentes partes que componen la unidad final del sistema baterías y como se han ensamblado entre sí para alcanzar las especificaciones deseadas.

Para exponer los diferentes desarrollos, estos se van a dividir en las partes principales que componen el equipo, exponiendo cada una de ellas, los componentes que se han utilizado para crearlas y su función y características. Finalizando este apartado con el desarrollo del ensamblaje final del equipo.

Las partes principales del desarrollo del equipo se descomponen en:

■ Bandeja de baterías

Esta parte del equipo está compuesta internamente por varios packs de baterías, en concreto para cumplir las especificaciones eléctricas requeridas se han conectado tres packs de baterías en serie, cada uno con su propio control local de seguridad y balanceo para las celdas.

Con el fin de cumplir las especificaciones de modularidad que ha de cumplir esta parte del equipo, se ha dotado a la bandeja de baterías de unas borneras de potencia externas, a través de las cuales se podrá acceder a la energía interna almacenada en la bandeja y conectar en serie varias bandejas de forma sencilla.

Se ha dotado al frontal de la bandeja con una salida del bus de comunicaciones interno, que permitirá interconectar todas las bandejas al bus de comunicaciones del equipo, comunicando entre sí todas las bandejas con el control central y los equipos exteriores.

En cuanto a los materiales de montaje se ha utilizado un cajón de aluminio perforado, con el fin de cumplir las condiciones necesarias de robustez, ventilación, peso y tamaño, con un frontal dotado de las conexiones necesarias de potencia y comunicación fácilmente accesibles para la conexión de varias bandejas entre sí.

Las características concretas de la bandeja desarrollada son:

- Tensión nominal en bornas: 80V.
- Capacidad total: 75Ah
- Potencia nominal: 6KW
- Potencia pico: 15KW
- Dimensiones: 600*250*1100mm
- Peso: 60Kg
- Comunicaciones: CAN2.0A
- Terminales de conexión externos: borna positiva del bus de continua, borna negativa del bus de continua, comunicaciones CAN.

Cumpliendo así con las especificaciones pedidas para esta parte del equipo. En la figura 4.27 se puede observar una imagen de la bandeja final desarrollada y en la figura 4.28 una imagen de la parte interna de la misma bandeja.



Figura 4.27: Bandeja de baterías

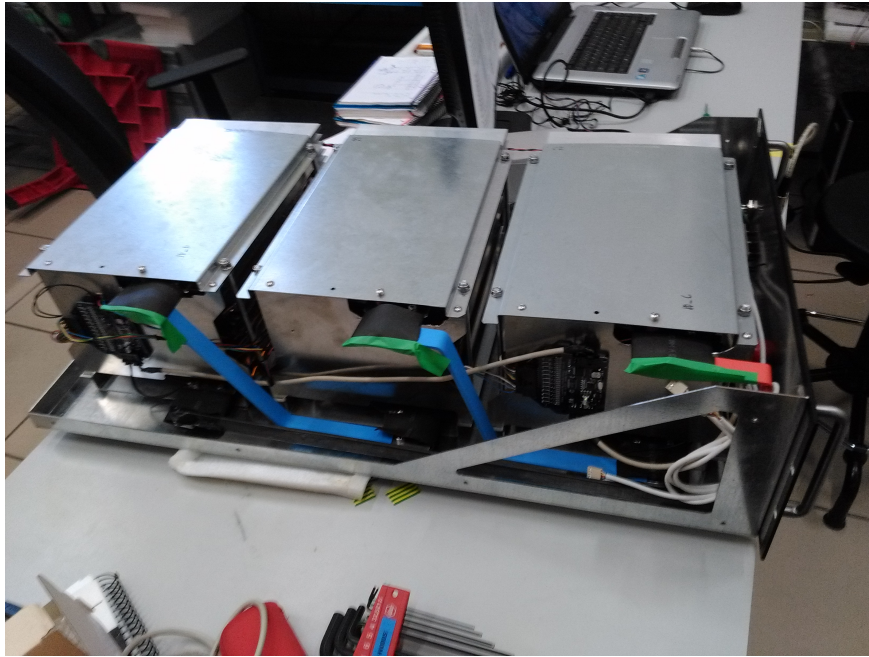


Figura 4.28: Interior de la bandeja de baterías

- Bandeja de protecciones y control

La bandeja de protecciones y control está incluida dentro del equipo final junto a las bandejas de baterías, esta bandeja tiene la función de hacer de control central para todo el equipo y de proteger el bus de continua contra situaciones de funcionamiento peligrosas. Está compuesta por dos partes principales, la sección de control y la sección de protecciones, dispuestas físicamente como se muestra en el diagrama de la figura 4.29.

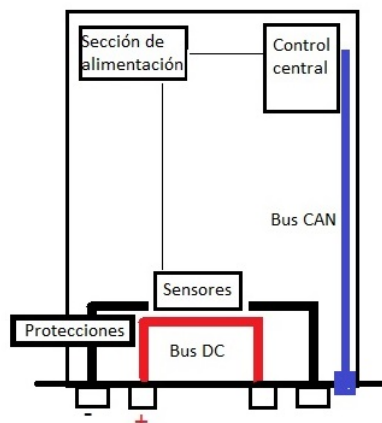


Figura 4.29: Distribución de la bandeja de protecciones

Se ha desarrollado una parte de control principal capaz de recibir información tanto de los BMS locales, conociendo así el estado del equipo, como de los sensores conectados al bus de continua, procesando dicha información y generando las señales de control adecuadas en cada momento. Con este control central implementado se cumplen las especificaciones de control requeridas para el equipo.

La parte de protecciones sobre el bus de continua desarrollada se centra en una serie de protecciones por sobre intensidad basadas en fusibles, la cual protegerá el bus de continua

contra sobre corrientes mantenidas y picos de intensidad. La parte de control sobre el bus queda implementada mediante dos contactores que, comandados por el control central pueden conectar o desconectar al equipo del bus en cualquier momento. Quedando así cubiertas las especificaciones exigidas para la protección del bus de continua.

Para cumplir con las especificaciones de modularidad requeridas sobre esta bandeja se le ha dotado de unas borneras de conexión de potencia en el frontal, estas borneras de conexión permiten que, de una forma modular y rápida se puedan inter conectar la parte de potencia del equipo con el bus de continua, a través de las protecciones anteriormente descritas. Finalmente se ha implementado en el frontal del equipo un acceso al bus de comunicaciones, con el fin de facilitar la posterior conexión con sistemas SCADA exteriores al armario de baterías.

En la figura 4.30 se muestra el frontal de la bandeja de protecciones y control, donde se pueden observar las borneras de conexión de potencia y la salida del bus de comunicación descrita, en la figura 4.31 se muestra la implementación final del interior de la bandeja de protecciones y control.



Figura 4.30: Frontal de la bandeja de protecciones

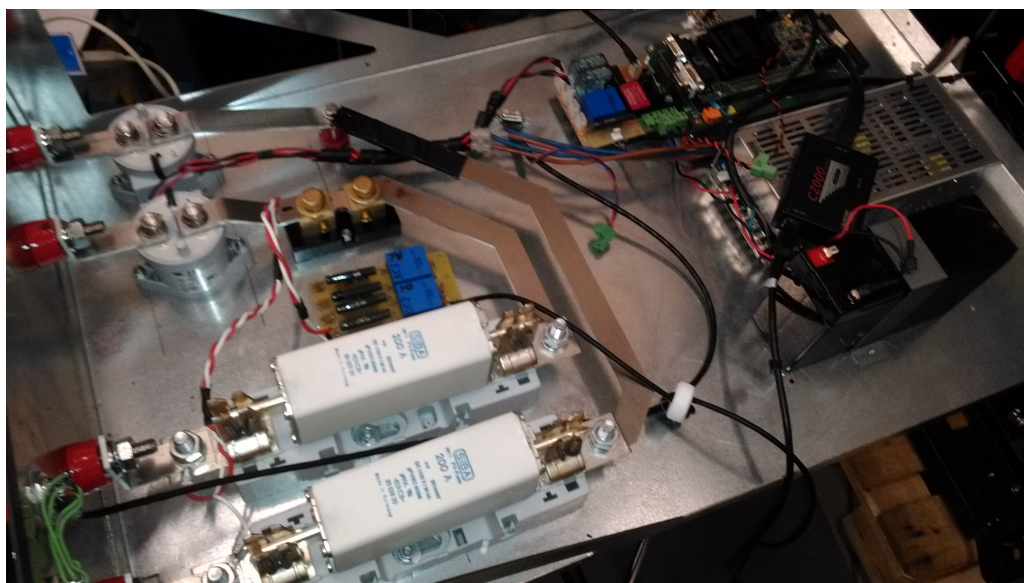


Figura 4.31: Interior de la bandeja de protecciones

■ Conexionado de potencia

El conexionado final de potencia del equipo se basa en la conexión en serie de ocho bandejas de baterías, conectando estas bandejas finalmente a la bandeja de protecciones tal y como se muestra en la figura 4.32.

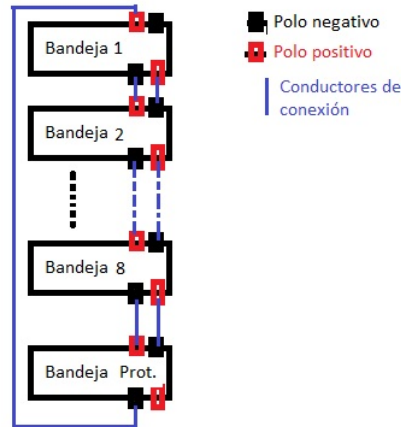


Figura 4.32: Conexionado de potencia

Para realizar esta conexión en serie se ha utilizado un cable de aluminio de 12mm de diametro, capaz de aguantar una corriente nominal de más de 200A, se ha conectado la bornera positiva de cada batería con la negativa de la siguiente, creando un conjunto total de baterías en serie con las siguientes características:

- Tensión en bornas: 640V
- Capacidad total: 75Ah
- Potencia nominal: 48KW
- Potencia pico: 120KW

Finalmente este conjunto de bandejas de baterías se conectará a la bandeja de protecciones, donde pasará por las protecciones y contactores de control antes de salir al bus de continua. Para facilitar la conexión del bus de continua al equipo se han instalado dos borneras de conexión en el frontal de la bandeja de protecciones y control. En la figura 4.33 se puede observar la implementación final del conexionado de potencia del equipo.

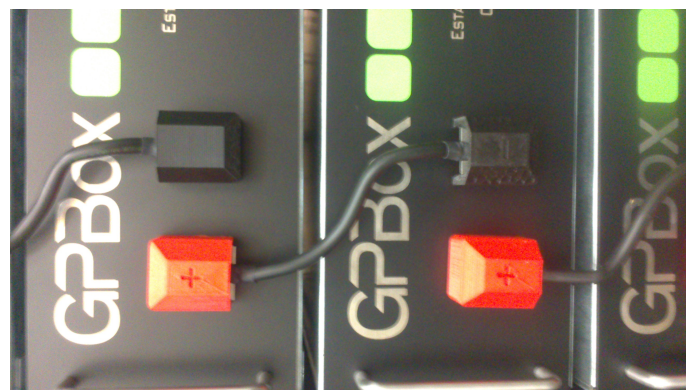


Figura 4.33: Conexionado de potencia

- Conexionado de comunicaciones

El conexionado final de comunicaciones que se ha desarrollado se basa en un bus de comunicaciones CAN estándar, como el que se muestra en la figura 4.34.

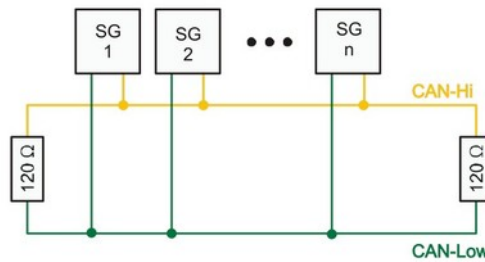


Figura 4.34: Conexionado estándar de bus CAN

Dentro de este bus se han implementado como nodos todos los BMS locales instalados dentro de cada bandeja, el control central (DSP) y el sistema SCADA, dando lugar a un bus con un total de 18 nodos. Estos nodos comparten información en el bus que es recogida por el control central, procesada y enviada al sistema SCADA. Quedando un bus de comunicaciones como el mostrado en la figura 4.35.

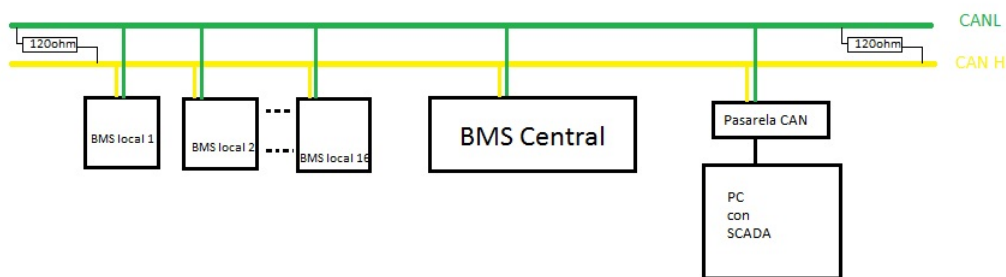


Figura 4.35: Conexionado del bus del equipo

Para implementar este bus se ha utilizado un cable de cinco hilos para conectar cada bandeja al bus, utilizando unos conectores DIN de cinco pines para el conexionado en el chasis. En la figura 4.36 se puede observar en detalle el conexionado del bus de comunicación.



Figura 4.36: Conexionado de comunicación

La información que envía el control central al sistema SCADA es la tensión individual de cada celda, la temperatura individual de cada sonda, la tensión total del equipo, la tensión total en bornas, la intensidad que circula por el bus de continua y el estado de carga.

Esta información se envía según el mapa de comunicaciones CAN mostrado en la tabla de la figura 4.37, estas tramas son recogidas por el SCADA y monitorizadas de forma clara para el usuario.

Tramas transmitidas por el control central								
ID(decimal)	byte 1	byte 2	byte 3	byte 4	byte 5	byte 6	byte 7	byte 8
0-32	V1	V2	V3	xx	xx	V4	V5	V6
38	Voc Total (H)	Voc Total (L)	SoC	I total(H)	I total(L)	Vmedida (H)	Vmedida (L)	Error
40-45	T1	T2	T3	xx	xx	T4	T5	T6

Figura 4.37: Tramas generadas por el BMS central

■ Armario/ contenedor

A la hora de realizar el montaje de todos los componentes del equipo se ha seleccionado un armario de suelo marca monolyth con las siguientes características:

- Altura: 42 unidades rack (2100mm)
- Puerta: cristal con llave
- Fondo: 1100mm
- Perfil: 19 pulgadas
- Material principal: aluminio
- Peso: 145Kg

En la figura 4.38 se puede observar el armario descrito.



Figura 4.38: Armario monolyth

Dentro de este armario se distribuirán las bandejas de baterías y la bandeja de protecciones y control, quedando así todo el equipo montado de forma fija en un solo armario, facilitando las posteriores operaciones a la hora de mover el equipo a un emplazamiento

distinto de donde se ha ensamblado. En la figura 4.39 se puede observar el resultado de la implementación del armario dentro del equipo.



Figura 4.39: Armario desarrollado

■ Implementación final del equipo.

Una vez montadas todas las bandejas dentro del armario se procede a realizar las conexiones de potencia y comunicaciones anteriormente descritas, quedando el equipo final completamente ensamblado y conectado, obteniendo así un equipo con las siguientes características principales:

- Tensión en bornas: 640V
- Capacidad: 75Ah
- Intensidad nominal de descarga máxima: 75A
- Potencia nominal: 48KW
- Potencia pico: 120KW
- Dimensiones: 2100x1100x600mm
- Peso: 630Kg
- Densidad de energía: 0.0762 KW/Kg
- Comunicaciones: bus CAN 2.0A
- Mecanismos de seguridad: Protección contra sobre intensidades y mecanismos anti fallo
- Interfaz con el usuario: Sistema SCADA implementado en LabVIEW

En la figura 4.40 se puede observar la implementación final del equipo.



Figura 4.40: Conexionado completo

El equipo mostrado junto con la unidad SCADA implementada en un PC mediante el software de programación LabVIEW, compondrán el equipo final sobre el que se realizarán posteriormente las pruebas necesarias para verificar y validar su correcto funcionamiento.

4.4. Desarrollo de usuario

Dentro del desarrollo de usuario se mostrará el funcionamiento del equipo una vez implementado, este funcionamiento ha de cumplir con las especificaciones de usuario dadas.

Se expondrá en este apartado las conexiones finales de las que se ha dotado al equipo, la interfaz de comunicación con el usuario, los modos de funcionamiento de los que dispone y las acciones futuras de mantenimiento necesarias para que el equipo funcione correctamente.

A la hora de desarrollar las diferentes especificaciones de usuario se dividirán en las siguientes partes:

- Modos de funcionamiento del equipo

Se han implementado dentro del control del equipo tres modos principales de funcionamiento, inicialización, estado correcto y estado de error, cubriendo así las necesidades de usuario especificadas para el funcionamiento del equipo final, cada modo de funcionamiento implementado desarrollan una serie de tareas concretas y únicas que dotan al equipo de una funcionalidad completa.

- Estado de inicialización: Este estado se ejecutará cada vez que el equipo comience a funcionar, su misión es la de realizar las tareas de inicialización del control principal del equipo, seteando las variables iniciales del DSP y realizando las declaraciones programadas por defecto para el correcto funcionamiento del equipo, etc.

Al ejecutarse este estado de inicialización el equipo permanecerá desconectado de la red en todo momento, tras inicializar el control central este realizará un testeo del equipo completo, evaluando tanto el estado individual de cada bandeja como la tensión del bus de continua y habilitando en caso de que todo esté correcto, el paso al estado de funcionamiento correcto.

En el caso de encontrar algún error en el equipo o tensiones muy diferentes entre el bus de continua y la proporcionada por el equipo (del orden de una diferencia de 30Vdc entre ambas tensiones), se pasará automáticamente al estado de error hasta que las condiciones sean las adecuadas para poder conectarse a la red, comunicando al usuario que se ha producido un error y su causa.

- Estado de funcionamiento correcto: Este estado se encontrará en continua ejecución siempre que las condiciones del equipo y de la red sean las adecuadas para un correcto funcionamiento permaneciendo conectado a la red en todo momento.

Cuando el equipo se encuentra en este estado realiza un chequeo continuo del estado de las celdas individuales de baterías a través de la información facilitada por los BMS locales, evaluando que la tensión y temperatura de las minas se encuentren dentro del rango adecuado.

El estado de las baterías y del bus de continua es monitorizado y enviado mediante el bus de comunicaciones al sistema SCADA donde el usuario podrá visualizar cada parámetro del equipo en todo momento.

Sólo se sale del estado de funcionamiento correcto si, en el chequeo rutinario realizado por el control central este encuentra algún parámetro del equipo fuera de rango o si el usuario decide salir de este modo, lanzando la orden manualmente desde el panel del SCADA. Si ocurre cualquiera de estas situaciones se pasará automáticamente al modo de error, donde se sacará al equipo de la red y se monitorizará su estado hasta que se corrija el fallo.

- Estado de error: Este estado se ejecutará cuando el equipo se encuentre en una situación en la que no sea posible un correcto funcionamiento del mismo, cuando se ejecuta este estado el equipo permanece desconectado de la red en todo momento y se realiza una motorización continua del equipo esperando a que se corrija el fallo.

Si alguna de las celdas del equipo se sale de los rangos de tensión y temperatura configurados automáticamente el equipo entrará en modo error, abriendo los contactores de la bandeja de protecciones para sacar al equipo de la red y posteriormente comunicando al sistema SCADA el estado de error y el evento concreto que lo ha provocado, permitiendo al usuario visualizar toda esta información.

Desconectado el equipo de la red se realizará una monitorización constante del estado de las celdas y del estado del bus de continua, una vez que se corrijan los fallos en las celdas y el control central compruebe que es viable volver a conectar el equipo a la red (todas las celdas individuales se encuentran dentro de su rango y la diferencia de tensión entre el equipo y el bus de continua no excede los 30Vdc), se pasará automáticamente al estado de funcionamiento correcto.

■ Interfaz con el usuario

Para cumplir con las diferentes especificaciones de interfaz con el usuario exigidas se han desarrollado varios puntos de interacción del usuario con el equipo. Estos puntos de interacción se pueden dividir básicamente en puntos físicos, como son leds de estado, interruptores de marcha, etc. y puntos software donde se encuentra el sistema SCADA

- Puntos físicos: Los puntos físicos de interacción desarrollados para el equipo han sido tres, una seta de seguridad, un interruptor de corte general y unos leds de estado.

La seta de seguridad se encuentra en la puerta del armario del equipo y su función es sacar al equipo de la red en caso de emergencia, una vez pulsada abre los contactores y desconecta el equipo del bus de continua. el interruptor de corte general se encuentra cercano a la seta de seguridad, en la puerta del equipo y su función es la de cortar la alimentación general de la parte de control del equipo, al desactivar este interruptor se elimina la alimentación del DSP y los BMS locales, abriendo también los contactores.

Los leds de estado se han ubicado en la bandeja de protecciones del equipo, con el fin de proporcionar al usuario información sobre el estado del mismo de forma rápida y

visual, se han instalado tres leds: un led verde que indica que el equipo se encuentra en el estado correcto de funcionamiento, un led rojo que indica el estado de error y uno amarillo que indica el estado de inicialización. En la figura 4.41 se puede observar los leds instalados en la bandeja de protecciones.



Figura 4.41: Leds del frontal de la bandeja

- Puntos software: El punto software de interacción con el usuario es el sistema SCADA que se ejecutará en un PC conectado al equipo, este sistema SCADA se comunicará con el control central compartiendo órdenes e información en todo momento, proporcionando al usuario una visualización del estado del equipo con más detalle y la posibilidad de sacar al equipo de la red si así lo estimara oportuno.

El apartado de monitorización del SCADA proporciona al usuario la tensión den circuito abierto de cada una de las celdas y la temperatura de todos los sensores instalados, todo esto dividido por bandejas. Muestra de forma numérica y gráfica el estado de carga del equipo, la intensidad que está circulando y la tensión en bornas. En el apartado de control ofrece al usuario la posibilidad de sacar al equipo de la red mediante tres interruptores distintos situados en el frontal del SCADA, estos interruptores dan la orden al control central de abrir o cerrar los contactores de la bandeja de protecciones, los interruptores K1 y K2 actúan sobre el contactor 1 y 2 respectivamente, mientras que el interruptor P actúa sobre los dos contactores a la vez. En la figura 4.42 se puede observar una imagen del frontal del SCADA implementado.

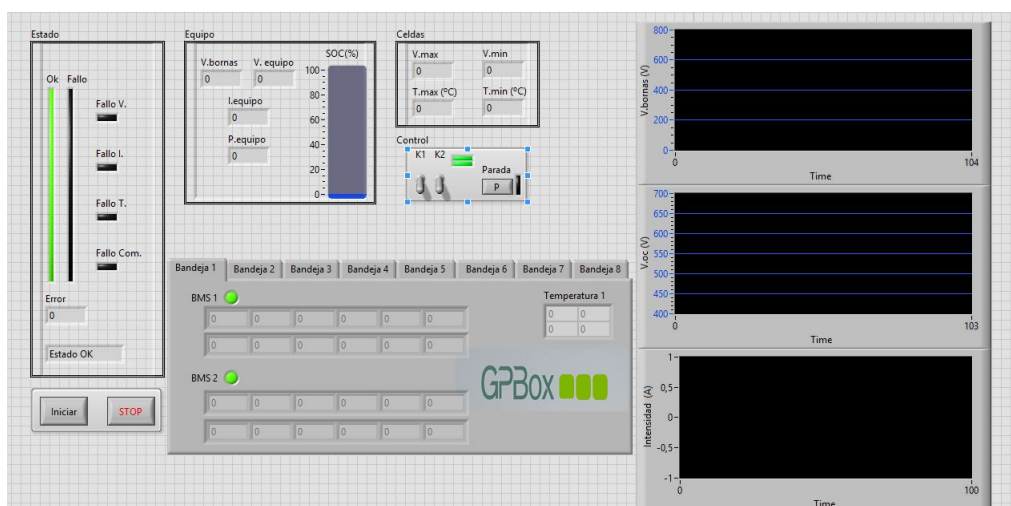


Figura 4.42: Frontal del SCADA implementado

- Terminales externos de conexionado

Para cumplir con las especificaciones exigidas al equipo a la hora de conectarlo tanto al bus de continua como con otros equipos se ha implementado una salida de potencia y una salida de comunicaciones.

La salida de potencia del equipo tendrá la función de servir como punto de conexión para cualquier dispositivo que se quiera conectar al bus de potencia del armario, con el fin de facilitar las posteriores conexiones con el equipo se han instalado dos accesos a las bornas positiva y negativa del bus, este acceso se ha instalado en la bandeja de protecciones y se ha implementado mediante un pasa muros aislado compuesto por un tornillo de acero de métrica 10, capaz de soportar una corriente superior a 500A y con un poder de aislamiento de 2KV. Finalmente se han cubierto estas dos bornas de conexión con un capuchón aislante como medida de seguridad.

En cuanto a la salida de comunicaciones se ha instalado en el frontal del equipo una salida que conecta directamente con el bus de comunicaciones CAN, con la finalidad de proporcionar al SCADA un punto de conexión donde poder comunicarse con el equipo. Esta salida se ha implementado mediante un conector DIN de 5 pines hembra, conectando tres de ellos directamente a la parte de CAN L, CAN H y GND del bus CAN del equipo.

- Acciones de mantenimiento

La única acción de mantenimiento que será necesaria en el equipo una vez instalado y funcionando será la sustitución de las baterías al final de la vida útil de estas. Una vez que las baterías reduzcan su capacidad máxima a un 80 % de la capacidad que traían de fábrica estas habrán alcanzado el final de su vida útil.

Una vez que esto suceda es recomendable sustituir las baterías por otras iguales o equivalente ya que la eficiencia en los procesos de carga/descarga se reducirá notablemente, así como la capacidad máxima del equipo.

4.5. Conclusiones

Finalmente una vez desarrollado el equipo completo se ha podido validar su funcionamiento final, cumpliendo con las especificaciones de usuario pedidas.

Durante el desarrollo del proyecto la continua validación y testeo de cada componente y parte creada ha permitido realizar una correcta y continua ejecución del proyecto, solucionando los problemas de desarrollo que se han presentado durante la implementación del equipo de forma acotada e individual.

Al tener unas especificaciones claras de la función que debía cumplir cada componente y parte del equipo se han podido testear de forma cómoda y clara cada parte desarrollada, pudiendo confirmar su correcto desarrollo y proporcionando información sobre el avance real del proyecto.

Se puede concluir por lo tanto que la metodología de desarrollo en V proporciona grandes beneficios a la hora de definir y desarrollar un proyecto, proporcionando un desarrollo claro y transparente que ayuda a optimizar los recursos del equipo de proyecto, reduciendo los esfuerzos de implementación y validación y generando confianza en los desarrollos realizados gracias a los continuos test y validaciones.

Capítulo 5

Experimentación

En este capítulo se expondrán algunas de las pruebas realizadas sobre el equipo para verificar el funcionamiento tanto de partes individuales del mismo como del conjunto completo. Estos experimentos se han llevado a cabo durante la fase de desarrollo y una vez ya montado el equipo completo, verificando que cada parte desarrollada cumpla con las especificaciones pedidas. Las pruebas más relevantes sobre el equipo o partes del mismo se muestran a continuación.

5.1. Pruebas sobre el bus y dispositivos de comunicaciones

Para verificar el funcionamiento del bus de comunicaciones se han realizado varias pruebas tanto a componentes individuales del bus como al bus completo. Estas pruebas se han basado principalmente en la verificación de las comunicaciones y mapas CAN de cada dispositivo, comprobando que los mensajes que cada nodo escribe en el bus son los correctos. Se han llevado a cabo comunicando cada dispositivo del bus CAN con el PC a través de la pasarela USB-CAN de VsCOM utilizada durante el desarrollo del bus y utilizando finalmente a nivel de aplicación el programa CANHacker que, a través de la pasarela mencionada es capaz de monitorizar el bus en todo momento y escribir mensajes en el mismo.

5.1.1. Comunicación del BMS local

Para verificar el correcto funcionamiento de los BMS locales se va a realizar una prueba de comunicación con un BMS de los 16 que se han instalado. Para realizar esta prueba se va a implementar a través de la pasarela de comunicaciones y la aplicación CANHacker el protocolo de pregunta-respuesta que incorporan estos dispositivos. Para ello se seleccionará el BMS con el identificador 0, al cual se le preguntará por la trama en la que devuelve el estado y las tensiones de las celdas. Se han depositado en el bus tres tramas RTR de pregunta, en concreto las tramas con los identificadores 64, 66 y 68 (hex.), esperando del BMS local la respuesta a estas tres tramas de pregunta, las tramas con los identificadores 65, 67 y 69 (hex.). Como se puede ver en la figura 5.1 el BMS local responde a estas tramas de pregunta con las respuestas que se esperaban.

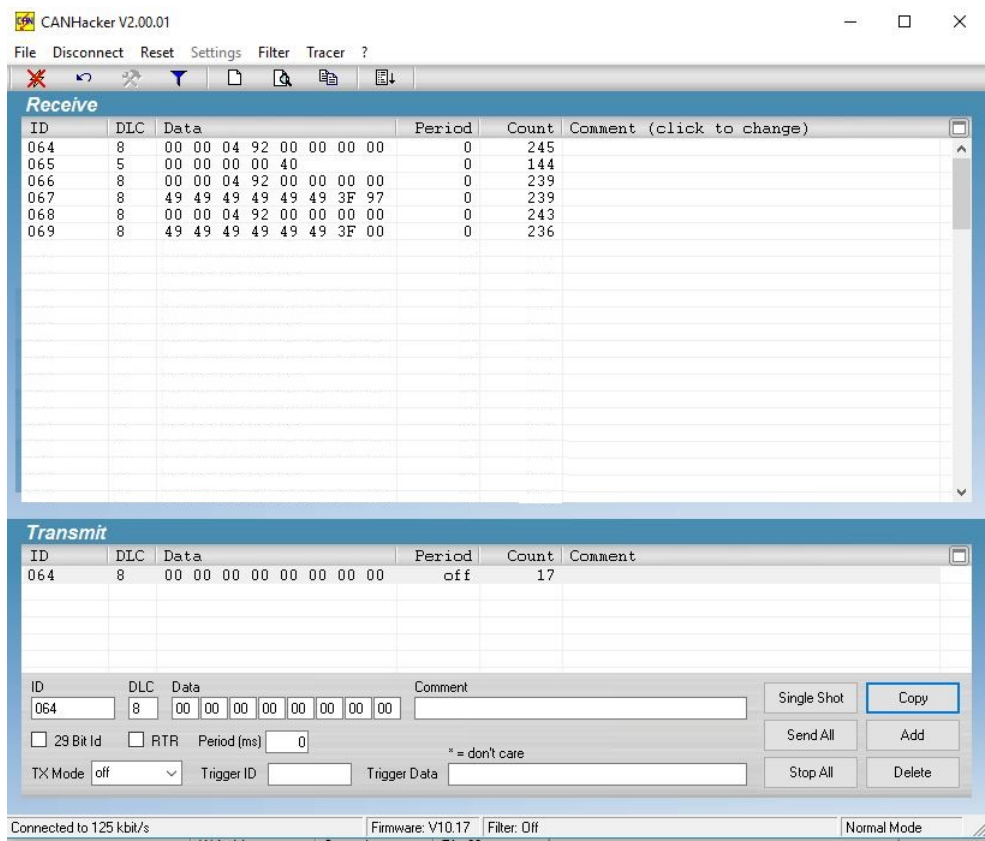


Figura 5.1: Tramas de pregunta/respuesta al BMS1

De forma análoga se ha realizado la comprobación de la comunicación con todos los BMS locales del equipo, verificando en todos los casos que la comunicación obtenida sea la deseada.

5.1.2. Comunicación del BMS central

El BMS central implementa un protocolo de comunicaciones en el que continuamente, cada 300ms, transmite por el bus CAN las tramas que van destinadas a la comunicación con el sistema SCADA y cada 500ms las tramas de pregunta para cada BMS local. Para verificar este funcionamiento se ha monitorizado el bus de comunicaciones a través de la pasarela USB-CAN, verificando el correcto funcionamiento del dispositivo dentro del bus de comunicaciones. En la sección de comunicaciones dirigida al SCADA el dispositivo ha de transmitir un total de 50 tramas de comunicación CAN, estas tramas estarán distribuidas con los identificadores del 1 a 40 (hex.) y en ellas se transmitirá información sobre el estado del equipo de baterías.

Para realizar la petición de información a los BMS locales, el BMS central implementa un bucle de peticiones que se ejecutará cada 500ms, a través de este bucle el BMS central transmite las tramas de petición de información necesarias para cada BMS, transmitiendo un total de 48 tramas dedicadas a peticiones de información. En la figura 5.2 se muestran las tramas de petición emitidas.

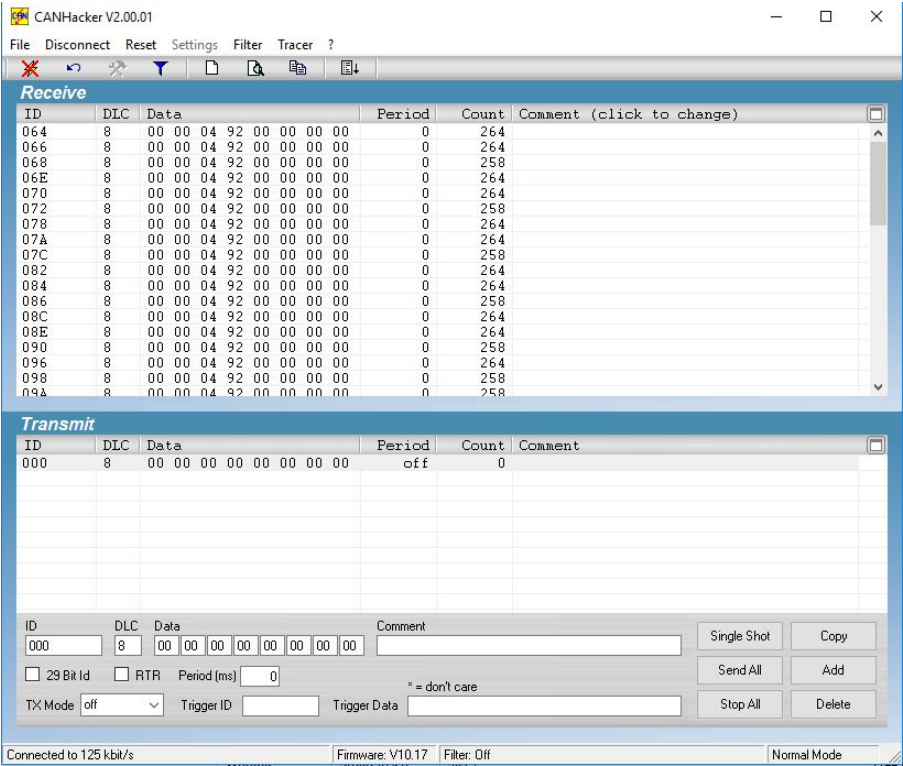


Figura 5.2: Tramas de petición del BMS central

Como se puede observar en la figura 5.2, todas las tramas de petición necesarias para el correcto funcionamiento del equipo se transmiten sin ningún problema a través del bus. Como verificación final se monitorizarán las tramas de pregunta y las de respuesta enviadas por cada BMS, obteniendo el resultado mostrado en la figura 5.3 y verificando así el correcto funcionamiento del bus de comunicaciones.

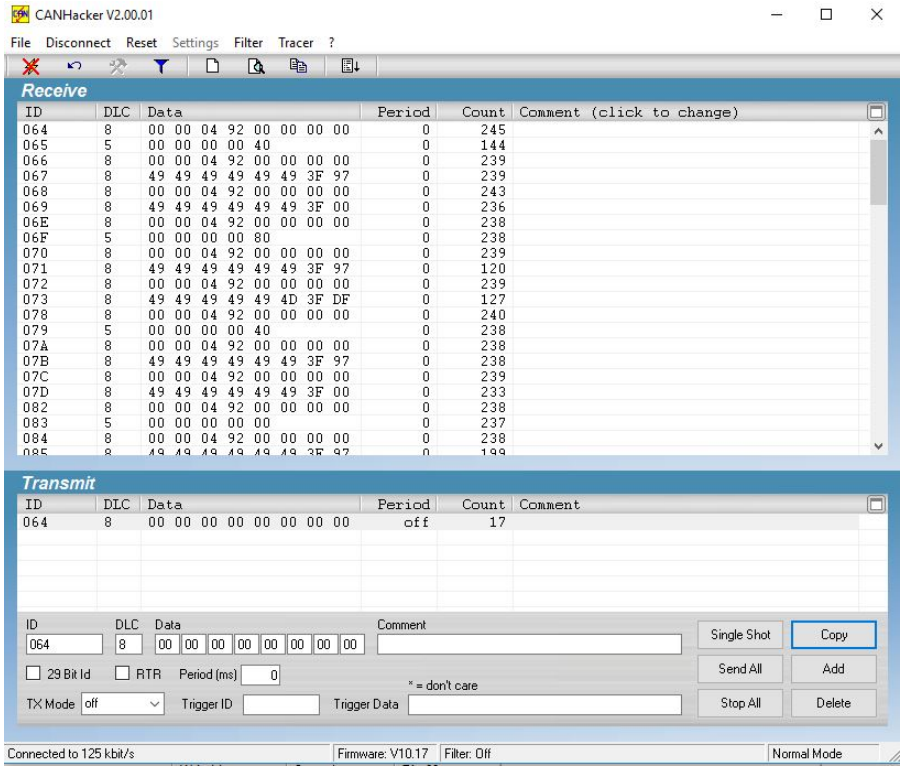


Figura 5.3: Tramas de petición/respuesta del equipo

5.1.3. Comunicación del SCADA

El sistema SCADA transmitirá una trama de datos cada 100ms, esta trama contiene las acciones de control que el usuario realiza sobre el equipo a través de la interfaz del SCADA. La trama tiene un identificador fijo y un campo de datos de 3 bytes del cual sólo se utiliza el primero para indicar al control central el estado en el que el usuario desea que estén los contactores, los otros dos bytes se reservan para posteriores ampliaciones. Para verificar el correcto funcionamiento del envío de tramas por parte del SCADA se monitorizará el bus CAN como en las comprobaciones anteriores. En la figura 5.4 se puede observar la trama de control enviada.

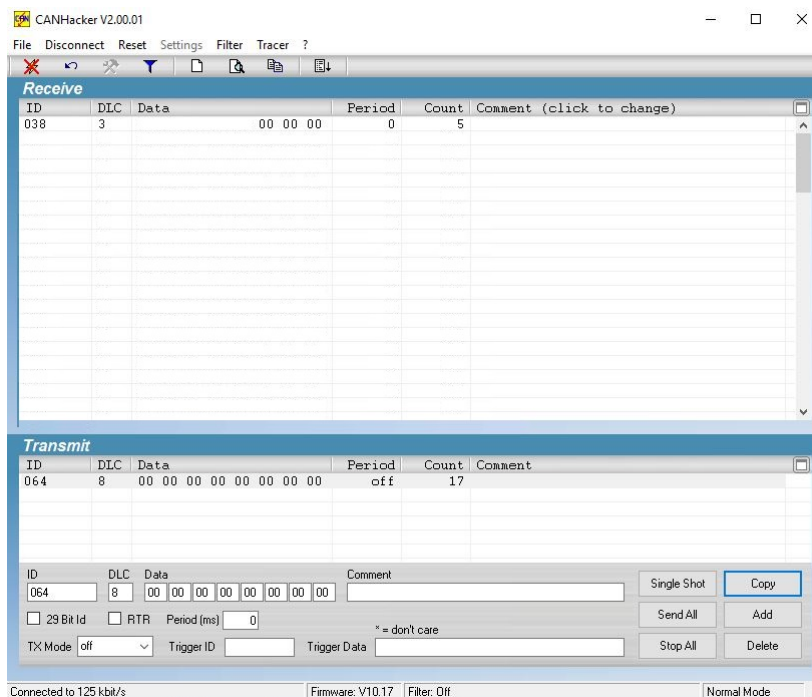


Figura 5.4: Trama de control del SCADA

5.2. Pruebas de los mecanismos de seguridad implementados

Para verificar el correcto funcionamiento de los contactores a la hora de conectar y desconectar el equipo del bus de continua se han realizado diferentes pruebas sobre el control central y su acción sobre los contactores.

5.2.1. Conexión inicial del equipo al bus

A la hora de una primera conexión del equipo a la red este ha de comprobar que tanto el equipo como la red se encuentran en condiciones de poderse conectar. Para ello, la diferencia de tensión entre el equipo y el bus de continua al que se va a conectar ha de ser menor de 30V, para verificar este sistema de seguridad se ha conectado al bus de continua una fuente de alimentación marca AMREL. Esta fuente es capaz de suministrar una tensión continua regulable entre 0 y 800V, y una corriente máxima de 20A. En la figura 5.5 se muestra una imagen de la fuente de alimentación descrita.



Figura 5.5: Fuente regulable AMREL

Para realizar esta prueba que valida el mecanismo de seguridad de conexión inicial a red se ejecutará el modo de inicialización del control central. Una vez ejecutada la primera parte de este módulo se comprobará que el equipo se encuentra correctamente. Una vez verificado el estado correcto del equipo, con la fuente de alimentación de tensión continua se pondrá el bus a la tensión necesaria. Se comprobará en todo momento que mientras la diferencia entre la tensión de bus y la tensión del equipo esté fuera de rango los contactores permanecerán abiertos en todo momento y una vez que la fuente de alimentación alcance la tensión de bus correcta el control central conectará el equipo al bus finalizando el modo de inicialización. Quedando así comprobado y validado el correcto funcionamiento del mecanismo de seguridad inicial de conexión al bus de continua.

5.2.2. Paso del estado de funcionamiento correcto a error y viceversa

Mediante esta prueba de validación se comprobará el correcto paso del estado de funcionamiento correcto del control central al estado de error y viceversa, validando el comportamiento del equipo en cada modo. Para realizar esta prueba se manipulará el control central a través de una ejecución de su código en modo depuración a través del software de programación Code Composer 6, el cual se ha utilizado para desarrollar el código del control central. En la figura 5.6 se muestra la interfaz de trabajo del programa.

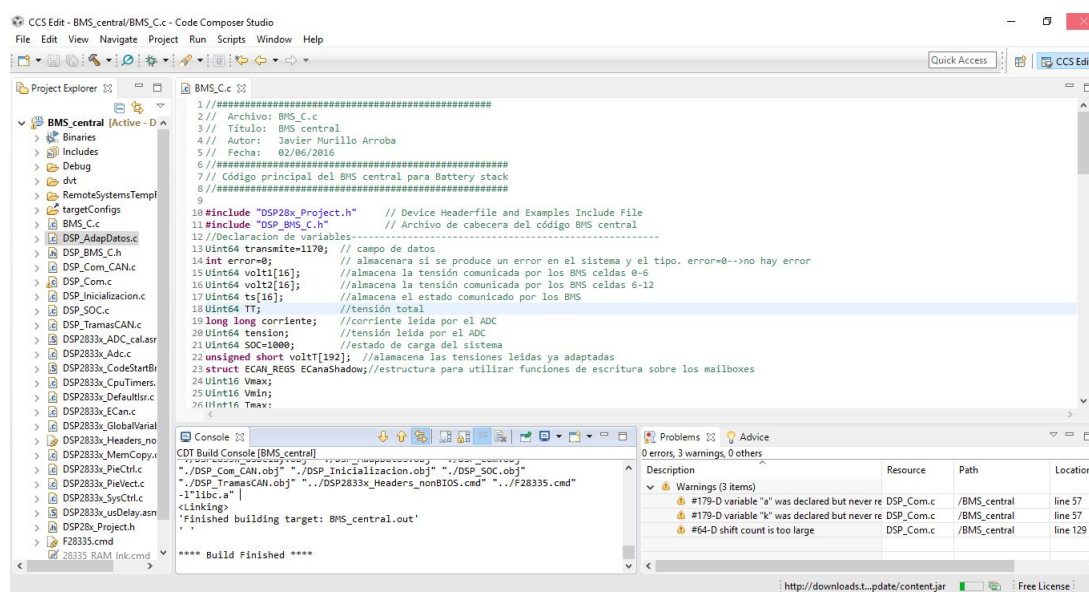


Figura 5.6: Pantalla de código de Code Composer 6

Para forzar al control central a ir del modo de funcionamiento correcto al modo de error y viceversa se manipularán mediante depuración los valores de tensión y temperatura de las celdas individuales, de tal forma que se saque a estos valores de rango produciendo un error. Mientras el equipo se encuentre en modo de funcionamiento correcto permanecerá conectado al bus de continua y testeando continuamente que los valores de tensión y temperatura de las celdas sean los correctos. Si alguno de estos valores se sale de rango el equipo ha de pasar automáticamente a modo error y desconectarse de la red, monitorizando continuamente el estado de las celdas por si se soluciona la incidencia, volviendo en ese caso al modo de funcionamiento correcto. Una vez realizada esta prueba quedan validados los pasos entre los diferentes estados del control central y las acciones que ha de llevar a cabo en cada uno de ellos

5.3. Calibración de los sensores

Para un correcto funcionamiento del equipo los sensores de medida instalados en el bus han sido calibrados, con el fin de que la lectura proporcionada por el control central coincida con el valor real del parámetro medido. Para calibrar el sensor de corriente y el sensor de tensión del bus de continua se ha utilizado la fuente de alimentación descrita anteriormente para las pruebas de seguridad.

Calibración del sensor de corriente

Para calibrar el sensor de corriente se ha conectado la fuente de alimentación en los dos extremos de la parte positiva del bus de continua de la bandeja de protecciones, creando un cortocircuito entre las dos bornas y limitando en corriente la misma. Con esto se consigue medir la corriente que está pasando por el sensor hall en todo momento, midiendo también mediante un multímetro la salida de tensión que proporciona la etapa de adaptación del sensor, tensión que leerá el control central. Mediante estas mediciones se obtiene la tabla que se muestra en la figura 5.7, donde se han obtenido varios pares de puntos Corriente/tensión .

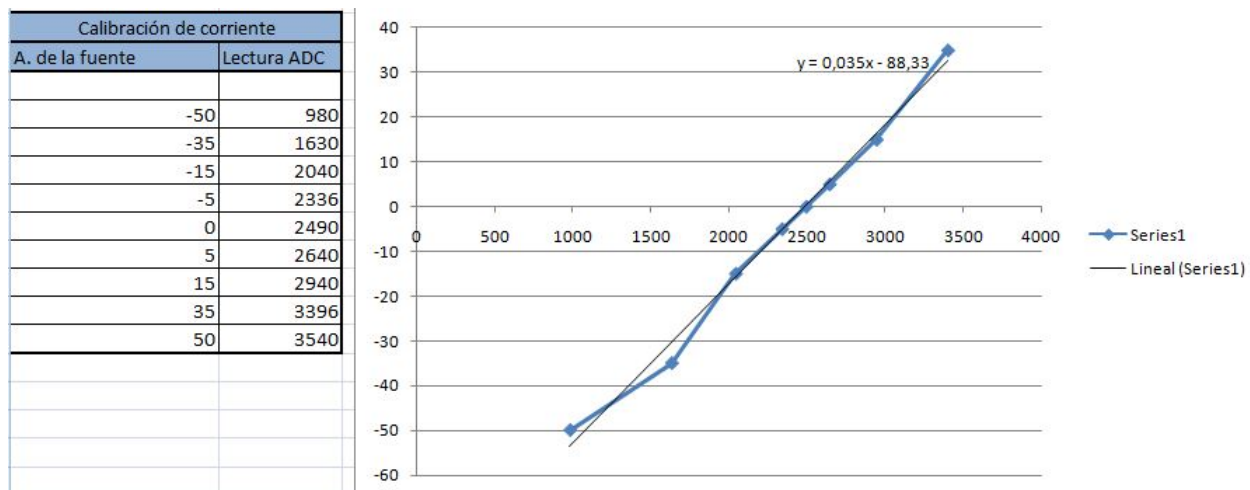


Figura 5.7: Calibración del sensor de corriente

Mediante estos puntos se puede definir el comportamiento del sensor, obteniendo mediante la fórmula 1 la corriente que pasa por el bus en función de la salida de tensión proporcionada por el circuito de lectura (hall + adaptación).

$$y = 0,035x - 88,33 \quad (5.1)$$

Calibración del sensor de tensión

Para calibrar el sensor de tensión se ha conectado la fuente de alimentación en los extremos positivo y negativo del bus de continua de la bandeja de protecciones, quedando este circuito abierto en todo momento. Con esto se consigue medir una tensión constante en el bus de continua mediante el sensor LEM, midiendo también mediante un multímetro la salida de tensión que proporciona la etapa de adaptación del sensor, tensión que leerá el control central. Mediante estas mediciones se obtiene la tabla que se muestra en la figura 5.8, donde se han obtenido varios pares de puntos Tensión/tensión .

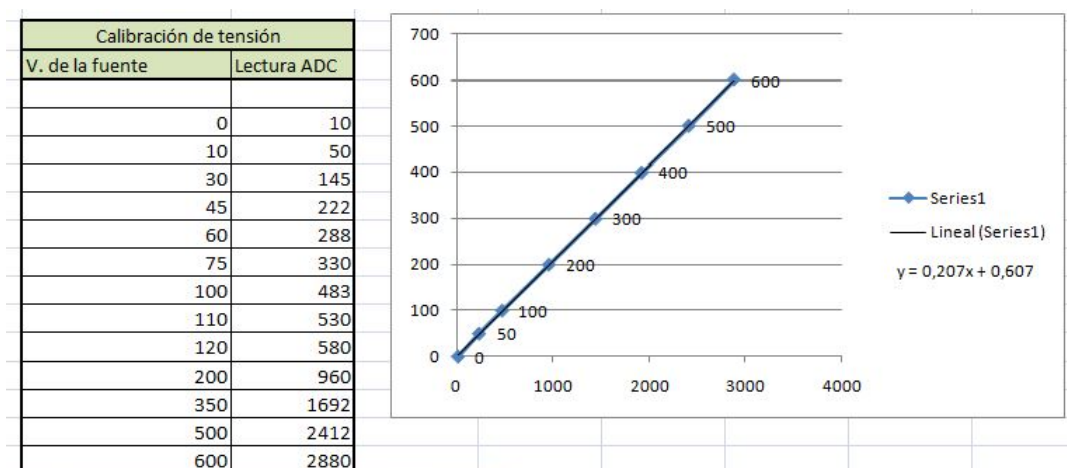


Figura 5.8: Calibración del sensor de tensión

Mediante estos puntos se puede definir el comportamiento del sensor, obteniendo mediante la fórmula 1 la tensión del bus en función de la salida de tensión proporcionada por el circuito de lectura (LEM LV100 + adaptación).

$$y = 0,207x - 0,607 \quad (5.2)$$

5.4. Pruebas de aislamiento del equipo

A la hora de garantizar el correcto aislamiento eléctrico del equipo se va a realizar una serie de tests de megado sobre el mismo. Para realizar estos test se va a utilizar un instrumento denominado megger de aislamiento, en concreto se va a utilizar un megger marca FLUKE modelo 1652C, en la figura 5.9 se muestra el megger de aislamiento descrito.



Figura 5.9: Megger FLUKE

Se ha realizado un test de aislamiento entre el polo positivo de las bornas de potencia del

equipo y chasis, el polo negativo y chasis y entre polo positivo y negativo de las conexiones de potencia del equipo.

Todos los test se han realizado comprobando el aislamiento del equipo a 1KV de tensión, obteniendo en cada uno una resistencia de aislamiento superior a 2Gohm, mucho mayor a la exigida por normativa para equipos de este tipo (500Kohm).

Quedando así testeado y validado el aislamiento del equipo, con el fin de evitar posibles descargas y derivas no deseadas entre las partes activas del equipo o las partes activas y tierra.

5.5. Pruebas de transitorios sobre el bus de comunicación

Para evitar posibles derivas de o picos de tensión en el bus de comunicaciones se ha aislado eléctricamente el bus del resto del equipo.

A la hora de conmutar los contactores del equipo para conectarlo o desconectarlo del bus de continua existe la posibilidad de que se introduzcan perturbaciones que pueden afectar a las comunicaciones e incluso dañar los equipos .

Para comprobar el correcto funcionamiento del bus ante la conmutación de los contactores se realizarán dos pruebas independientes:

Con el bus en reposo, sin establecer comunicación, se realizará una conmutación de los contactores del equipo, comprobando mediante un osciloscopio que no se produzca ningún pico de corriente en la línea de comunicación CANH o CANL.

Obteniendo después de la prueba el resultado que se observa en la figura 5.10, donde el bus no ha sufrido perturbación alguna (línea amarilla= CANH, línea azul CANL).

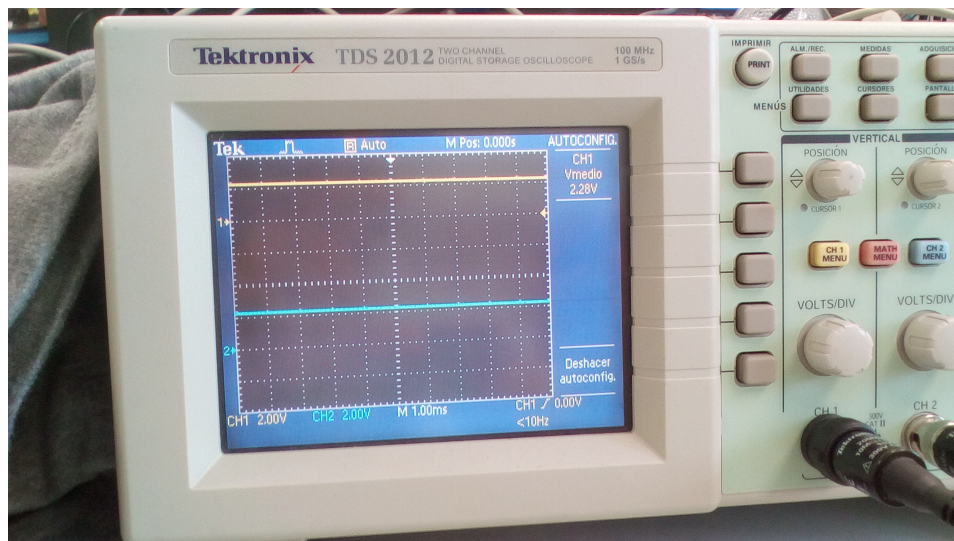


Figura 5.10: Lectura del osciloscopio con la línea en reposo

Una vez asegurada la protección contra sobre tensiones provocada por los transitorios se va a comprobar el correcto funcionamiento de la comunicación durante las conmutaciones. Se realiza para ello la misma prueba que en el test anterior pero ahora con los dispositivos comunicando. Como se puede ver en la figura 5.11 el resultado obtenido en el bus cumple con las especificaciones de tensión y temporización necesarios para la comunicación por protocolo CAN.

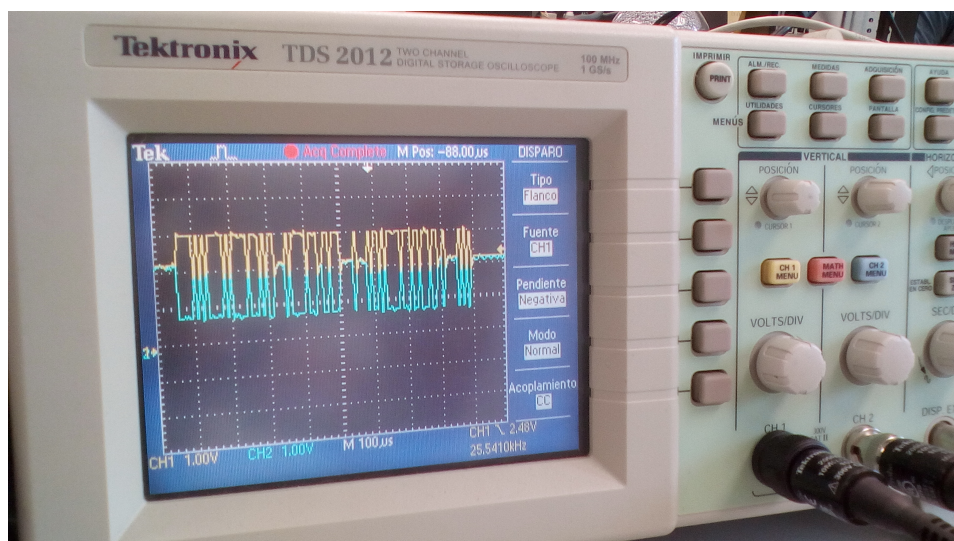


Figura 5.11: Lectura del osciloscopio con la línea en comunicación

Con esto queda testeado y validado el correcto funcionamiento del bus de comunicaciones y su comportamiento ante posibles perturbaciones durante la conmutación de contactores.

5.6. Pruebas de carga/descarga

Para verificar el correcto funcionamiento eléctrico del equipo completo se han realizado una serie de pruebas iniciales de carga/descarga. En estas pruebas se han monitorizado los parámetros eléctricos del equipo, tales como corriente del bus de continua, tensión, potencia suministrada y con el fin de verificar un correcto funcionamiento de las comunicaciones con el equipo en carga también se ha monitorizado el bus de comunicaciones. Se han realizado dos pruebas principales:

- Descarga del equipo: Se ha realizado una descarga del equipo mediante una bancada resistiva con 14 resistencias de 20hm y 400W en serie, alcanzando una carga total de 28ohm. En la figura 5.12 se puede observar la banda resistiva utilizada para el test de descarga.



Figura 5.12: Bancada resistiva

Al utilizar esta bancada resistiva, con una tensión del equipo en bornas de 635Vdc se obtiene en el bus de continua una corriente de 22.6A, provocando una descarga de 14.400W de potencia.

Esta prueba es monitorizada mediante un osciloscopio, el cuál monitorizará la tensión y corriente del bus de continua y las tramas de comunicación del bus CAN, utilizando también un multímetro marca FLUKE modelo fluke189 para monitorizar de forma redundante la tensión de bus.

Esta prueba de descarga se ha mantenido activa durante dos minutos en los cuales se han obtenido los resultados esperados, en la figura 5.13 se muestran los resultados obtenidos por el osciloscopio durante la prueba.

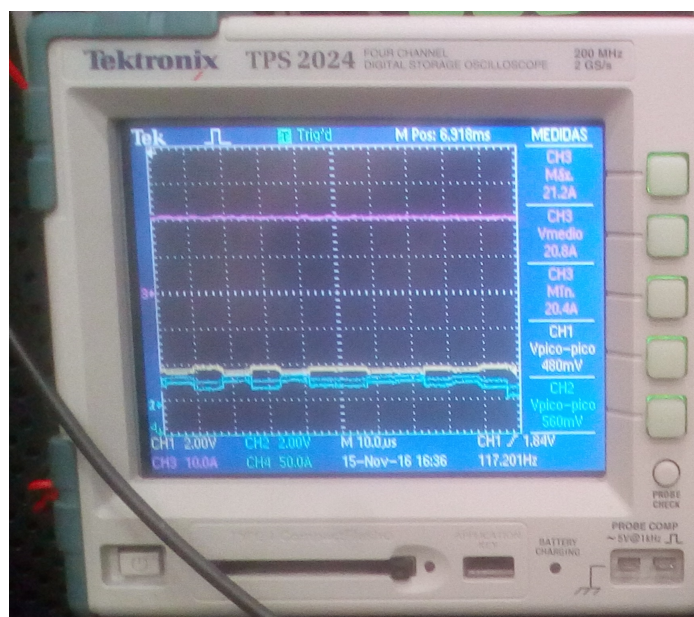


Figura 5.13: Osciloscopio en descarga de 20A

Como se puede observar en la figura los valores de tensión y corriente son los esperados durante la descarga, pudiendo validar así el correcto comportamiento eléctrico del equipo en descarga.

■ Carga del equipo:

Se ha realizado una carga del equipo mediante una fuente de alimentación marca Amrel, la cual es capaz de suministrar una tensión continua lo suficientemente alta como para cargar el equipo de baterías. En la figura 5.14 se muestra la fuente utilizada para las pruebas de carga.



Figura 5.14: Fuente de continua Amrel

Para la prueba principal de carga del equipo de baterías, se ha conectado la fuente de alimentación anteriormente descrita al bus de continua del equipo, proporcionando una

tensión de 640Vdc y con una limitación de corriente de 7A, manteniendo esta prueba activa durante dos minutos.

Para monitorizar el resultado obtenido durante este test de carga se ha utilizado la misma instrumentación de medida y conectada de igual forma que en el test de descarga mostrado anteriormente, obteniendo al monitorizar la prueba los resultados que se muestran en la figura 5.15.

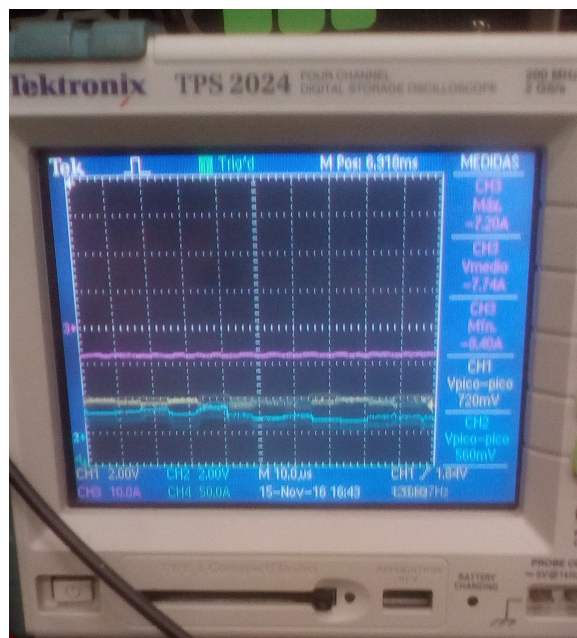


Figura 5.15: Osciloscopio en carga

Como se observa en la imagen los resultados obtenidos para este test son los esperados, generándose un flujo de corriente de 7A que circulará desde la fuente de alimentación al equipo de baterías, cargando estas y validando así el funcionamiento eléctrico del equipo durante una carga.

5.7. Prueba de puesta en marcha con inversor

Se va a realizar la conexión y puesta en marcha del equipo de baterías junto a un inversor marca GPtech modelo PV100. Para realizar esta puesta en marchar se conectarán tanto el armario de baterías como el inversor al mismo bus de continua, siendo el dispositivo inversor el que gestionará el mismo demandando o entregando energía al equipo de baterías, estando este controlado en todo momento por el BMS cetral del equipo y el sistema SCADA.

Como procedimiento de puesta en marcha se realizarán las siguientes acciones en el orden que se mencionan a continuación:

1. Se realizará la conexión eléctrica de ambos equipos a un bus de continua común.
2. Una vez realizada la conexión eléctrica se conectará el sistema SCADA del equipo de baterías.
3. Posteriormente se iniciará el software de control del equipo inversor.
4. Se programará el equipo inversor para realizar una demanda de corriente constante de 10A al equipo de baterías.

5. Mediante el control que ofrece el SCADA se conectará el equipo de baterías al bus de continua, poniendo este en tensión.
6. Una vez conectado el equipo de baterías al bus de continua el inversor realizará una precarga controlada del bus.
7. Finalizada la precarga se comenzará con el proceso de descarga constante a 10A del equipo de baterías.

Al realizar este proceso se obtienen en los dispositivos de monitorización y medida los resultados deseados, pudiendo concluir la prueba de puesta en marcha con inversor como válida. Utilizando este dispositivo para las posteriores pruebas y nuevos desarrollos que se realicen sobre el equipo de baterías.

5.8. Pruebas de funcionamiento del SCADA

A la hora de comprobar el correcto funcionamiento del SCADA que actuará como interfaz entre el usuario y el equipo se va a realizar una primera prueba con un SCADA más básico que el SCADA final expuesto en la memoria. Este sistema SCADA poseerá las funciones de monitorización y control básicas, permitiendo al usuario observar los parámetros de tensión y corriente del bus de continua recogidos por los sensores, la potencia que circula por el equipo y la tensión en circuito abierto de las baterías, ofreciendo también acciones de control sobre los contactores. En la figura 5.16 se muestra una imagen del frontal del SCADA reducido.

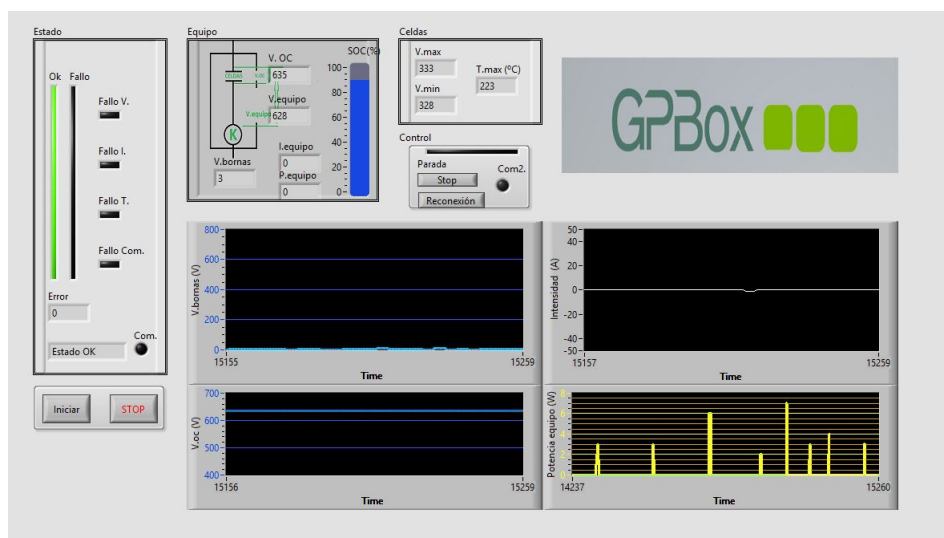


Figura 5.16: Frontal del SCADA

A la hora de testear el correcto funcionamiento de este SCADA se van a realizar varias pruebas sobre el equipo, observando en todo momento los resultados obtenidos por las pantallas de monitorización que ofrece el SCADA. Las principales pruebas realizadas han sido:

- Descarga del equipo: se ha realizado una prueba de descarga del equipo a una corriente constante de 10A durante dos minutos, visualizando el frontal del SCADA mostrado en la figura 5.17.

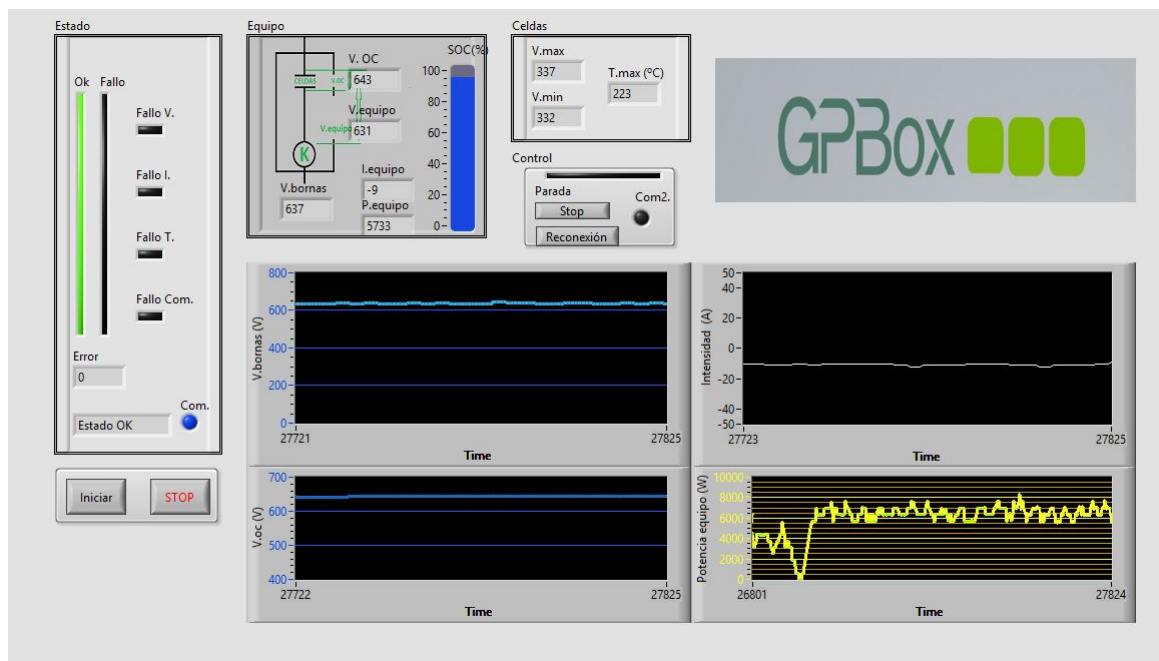


Figura 5.17: SCADA en descarga

- Carga del equipo: se ha realizado una prueba de carga del equipo a una corriente constante de 7A durante dos minutos, visualizando el frontal del SCADA mostrado en la figura 5.18.

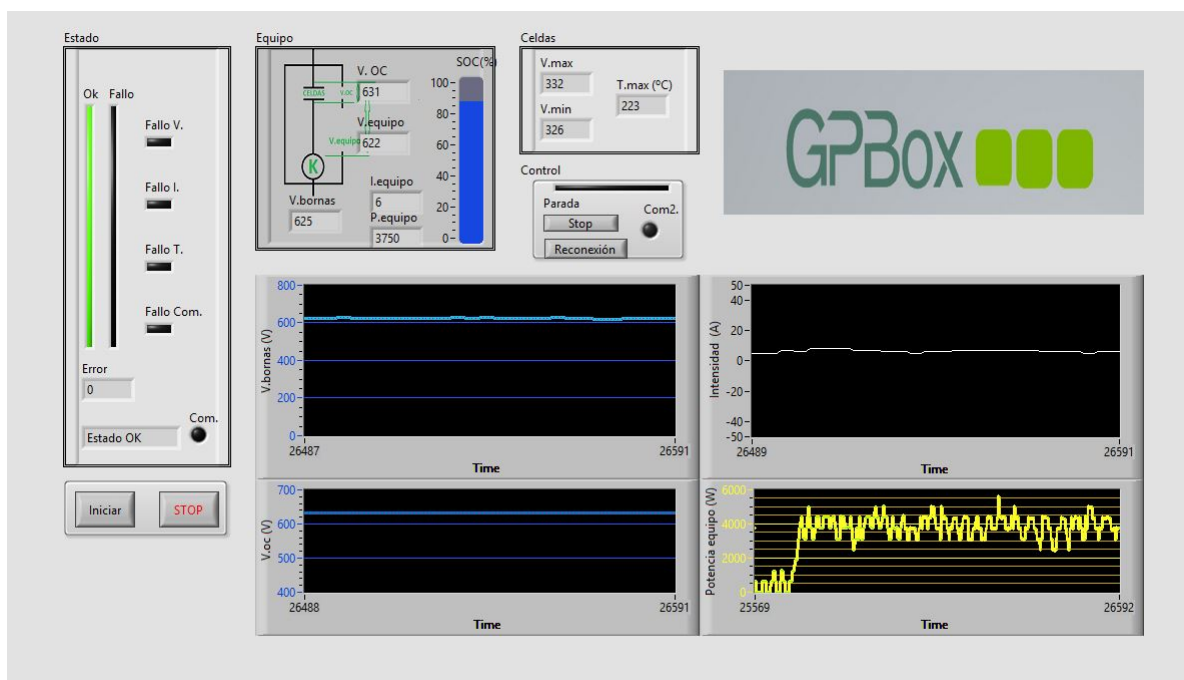


Figura 5.18: SCADA en carga

- Conexión/ desconexión de contactores: durante una prueba de descarga a 10A de demanda constante se han accionado los contactores del equipo desde el SCADA, desconectando al equipo del bus y volviendo a conectarlo posteriormente mediante el mismo control, obteniendo los resultados deseados sobre los contactores de la bandeja de control.

Como se puede observar en las figuras 5.17, 5.18 y en el test de control, los resultados obtenidos al monitorizar el funcionamiento del equipo en pruebas de carga/descarga y control desde SCADA son los correctos, obteniendo en cada momento los resultados de control y las mediciones esperadas sobre el equipo.

Estas pruebas de carga y descarga se han realizado mediante un inversor marca GPtech modelo PV100, este dispositivo tiene la capacidad de generar una demanda o una carga de energía en las baterías, controlada en todo momento por un software propio del dispositivo.

Este inversor será el que se utilice en posteriores pruebas para testear el equipo en diferentes rangos de trabajo, nuevos desarrollos y aplicaciones que se vayan generando.

Capítulo 6

Conclusiones y desarrollos futuros

6.1. Conclusiones

Dentro del nuevo marco energético de generación distribuida que proporcionan las smart grids, los sistemas de almacenamiento de energía se consolidan como pieza clave a la hora de poder almacenar y gestionar los recursos generados en cada nodo de la red.

Estos sistemas de almacenamiento han evolucionado mucho a lo largo del tiempo, ofreciendo actualmente un sin fin de nuevas posibilidades y tecnologías a la hora de implementarlos, destacando en especial los sistemas de almacenamiento basados en baterías de litio. Tecnología que debido a su alta densidad de energía y su reducción actual de precio en el mercado se ha impuesto como una de las principales tecnologías a tener en cuenta para implementar un sistema de almacenamiento.

A la hora de emprender el diseño de un sistema de almacenamiento basado en baterías de litio para su implementación en smart grids hay que tener presente la profundidad y el alcance que pueden llegar a tener este tipo de proyectos y en consecuencia, hay que plantearse su ejecución de una forma metódica y organizada, con el fin de evitar un posible fracaso del proyecto por falta de organización, especificaciones o no medir de forma correcta el alcance del mismo.

Llegados a este punto es donde toma relevancia la metodología de desarrollo en V, método desarrollado por la Administración Federal Alemana para regular el proceso de desarrollo de software y aplicable al ámbito de desarrollo de cualquier tipo de proyecto. Este método describe las actividades y resultados obtenidos durante el desarrollo y proporciona una guía para la planificación de proyectos.

Utilizando este método se obtienen unas garantías de calidad a la hora de desarrollar el proyecto, ya que se basa en una continua validación y testeo de cada una de las partes desarrolladas. Permitiendo así comprobar que todo el proyecto se está llevando a cabo de forma correcta y permitiendo identificar y corregir con suficiente margen los problemas que puedan surgir durante el desarrollo.

A la hora de realizar el proyecto del sistema para almacenamiento en smart grid, se comenzó como indica el método de desarrollo en V, definiendo todo el proyecto, empezando por las especificaciones de usuario, las más generales del equipo, y en base a esto se especificó como debía ser y que funciones debía cumplir cada parte y componente del equipo.

Una vez se han desarrollado las especificaciones del proyecto estas sirven de guía a la hora de organizar y realizar el desarrollo del mismo, permitiendo al coordinador del proyecto y al equipo técnico repartirse las tareas a realizar de una forma más eficiente.

Una vez completado el desarrollo de cada parte esta se ha validado conforme a las especificaciones pedidas para el mismo, comprobando que cumple con las mismas y pudiendo continuar el desarrollo de las siguientes partes, teniendo la certeza de que las partes validadas funcionan

tal y como se esperaba.

Gracias a este método de desarrollo se ha facilitado la tarea de afrontar un proyecto de grandes dimensiones como ha sido el desarrollo del sistema de almacenamiento, proyecto en el que ha participado un equipo de cuatro personas, llevando a cabo tanto labores técnicas como de organización. Permitiendo finalmente un correcto desarrollo del mismo y una verificación del funcionamiento a través de los continuos test y validaciones que propone el método de desarrollo en V.

6.2. Desarrollos futuros

Una vez finalizado el proyecto se abren las puertas a posibles campos de mejora y ampliación del mismo, se plantearán a continuación posibles mejoras a realizar sobre el equipo o futuros equipo similares que se puedan desarrollar.

Se expondrán también nuevas líneas de desarrollo de aplicaciones basadas en el equipo actual construido, con el fin de obtener un soporte más amplio y una mayor funcionalidad del sistema de almacenamiento, creando así un producto mucho más completo.

6.2.1. BMS propio

Una de las posibles mejoras a implementar en equipos futuros es la creación de un sistema de gestión local de baterías (BMS local) propio. El equipo actual monta unos BMS locales comerciales básicos, los cuales tienen un elevado precio y unas prestaciones básicas.

Los parámetros de estos BMS locales no son modificables, debiendo por lo tanto adaptar las especificaciones de algunos módulos del equipo, como el módulo de comunicaciones a las necesidades de estos dispositivos.

Como futura modificación para futuros equipos a construir se desarrollará un BMS local propio, pudiendo seleccionar en todo momento los parámetros del mismo, como por ejemplo velocidad de comunicación, tensión de corte de las celdas etc.

También se buscará con este nuevo BMS propio mejorar las prestaciones de balanceo ofrecidas por el BMS comercial, el cual implementa un balanceo pasivo clásico que se basa en quemar mediante resistencias la energía de las celdas con mayor carga, desperdiciando por tanto ese exceso de energía. Para el nuevo BMS de desarrollo propio se implementará un sistema de balanceo activo, que mediante un circuito de recirculación transportará la energía sobrante de las celdas a las que tienen menor carga, equilibrando así el conjunto con las menores pérdidas posibles.

6.2.2. Algoritmo de control en función de la demanda

Como aplicación sobre el equipo existente se pretende desarrollar un algoritmo de control capaz de estimar, en función de la demanda del usuario, el precio de la energía y el estado de la batería y del sistema generador la fuente o fuentes de energía más óptima a utilizar.

Se pretende implementar un algoritmo de control que tomando datos sobre los precios de la energía a través de internet y lecturas sobre el estado de la red sea capaz de determinar acciones de control sobre la smart grid.

Se pretende que este algoritmo tome las siguientes decisiones sobre la red, realizando también las actuaciones necesarias:

- Decidirá si se ha de cargar la batería de la red en un momento dado, atendiendo a históricos de consumo y precio de la energía.

- Tomará decisiones sobre si desconectar el sistema generador de energía por posibles sobrecargas de la red.
- A la hora de consumir energía estimará cual es la fuente o combinación de fuentes más óptima para ello, atendiendo al estado de la smart grid, el precio de la energía y los históricos almacenados.
- Generará históricos sobre las actividades realizadas y los resultados obtenidos para posteriores cálculos.

6.2.3. Equipos de menor potencia con celdas Panasonic

Como futuro desarrollo se ha planteado la posibilidad de desarrollar equipos similares al creado pero de menor potencia, alrededor de 5KW, enfocando su aplicación a un entorno más doméstico.

Para ello se ha planteado un cambio principal en el equipo que es la sustitución de las celdas individuales de baterías por unas de mayor densidad energética, en concreto de las celdas Panasonic NCR18650b las cuales poseen una densidad de energía de 243Wh/Kg, permitiendo así la creación de un equipo de menor volumen y peso, característica esenciales a la hora de implementar un equipo de almacenamiento en un entorno doméstico. En la figura 100 se muestra una imagen de las celdas seleccionadas.



Figura 6.1: Celda Panasonic NCR18650b

La creación y desarrollo de este tipo de equipos viene motivada por la creciente demanda de sistemas de almacenamientos orientados a instalaciones domesticas generadoras, ya sean aisladas o comunicadas con la red, las cuales tienen unas necesidades de consumo mucho menores al equipo inicial creado y unas necesidades de espacio que también dificultarían la implantación del sistema de baterías original dentro de la vivienda.

En base a estas necesidades se plantea el desarrollo de un nuevo equipo de almacenamiento capaz de solucionar este problema, para ello se plantea un sistema con las siguientes características:

- Tensión nominal del equipo:450V
- Capacidad:10Ah
- Potencia nominal:4500W
- Tamaño máximo:1500x600x100mm
- Peso máximo:80Kg